

أندرو دسلر   إدوارد أ. بارسون

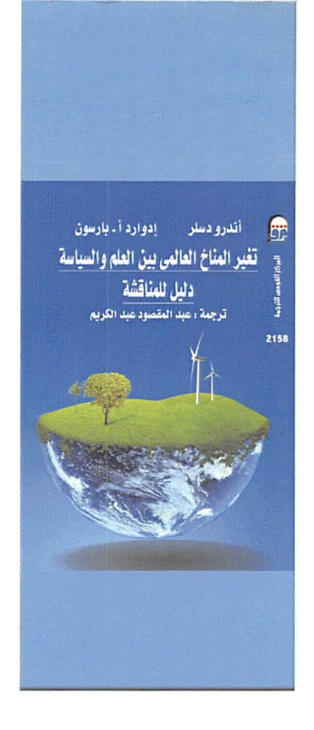
تغير المناخ العالمى بين العلم والسياسة

دليل للمناقشة

ترجمة : عبد المقصود عبد الكريم

المركز القومى للترجمة

2158



فى هذا الكتاب، يحاول المؤلفان توضيح الجدل العلمى والسياسى المثار حاليًا بشأن تغير المناخ. ويتناول الكتاب قضايا علم الغلاف الجوي، ويقدم مراجعة للمعرفة العلمية الحالية والشك بشأن تغير المناخ وطريقة استخدام هذه المعرفة فى المناظرة العامة والسياسية، ويفحص التفاعلات بين المناظرة السياسية والعلمية، ليتساءل كيف يمكن أن تكون مناظرة تغير المناخ مثيرة للنزاع ومربكة إلى هذا الحد، حين يزعم المشاركون أنهم يؤسسون جدالهم على المعرفة العلمية؛ كما يتناول الكتاب التأثيرات المحتملة لتغير المناخ، والاستجابات المتاحة فيما يتعلق بالخيارات التكنولوجية التى يمكن أن تتطور أو تنتشر، وبالسياسات التى قد يتم تبنيها. ويناقش نتائجها بالنسبة للفعل، وكيف تُستخدَم فى المناظرة العامة والسياسية. وأخيرًا، يضفر هذه الجدائل العلمية والتقنية والاقتصادية والسياسية معًا لتقديم خطوط عامة لمسار يخرجنا من الجمود الحالى. الكتاب يتوجه إلى الجمهور غير المتخصص بشكل أساسى، ومن هنا تأتى الاستفاضة فى طرح المفاهيم، ويرى المؤلفان أن الكتاب مناسب لدعم دراسة حالة تغير المناخ فى فصول الكليات عن سياسة البيئة أو العلم والسياسة العامة.

تصميم الغلاف: عبدالحكيم صالح

تغير المناخ العالمى بين العلم والسياسة

دليل للمناقشة

المركز القومى للترجمة
تأسس فى أكتوبر 2006 تحت إشراف: جابر عصفور

مدير المركز: رشا إسماعيل

- العدد: 2158
- تغير المناخ العالمى بين العلم والسياسة: دليل للمناقشة
- أندرو دسلر، وإدوارد أ. بارسون
- عبد المقصود عبد الكريم
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2014

هذه ترجمة كتاب:
THE SCIENCE & POLITICS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE:
A Guide to the Debate – 2nd Edition
By: Andrew E. Dessler & Edward A. Parson

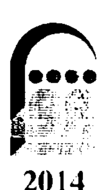
First published by the Syndicate of the Press of the University of Cambridge

شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة. ت: 27354524 فاكس: 27354554
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.
E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

تغير المناخ العالمى بين العلم والسياسة

دليل للمناقشة

تأليـــــف: أنـــــدرو دســـلر
إدوارد أ. بـــارســـون
ترجمـــــة: عبد المقصود عبد الكريم



2014

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

تغير المناخ العالمى بين العلم والسياسة: دليل للمناقشة / تأليف:
أندرو دسلر، إدوارد أ. بارسون، ترجمة: عبد المقصود عبد الكريم
ط ١ – القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٤
٣٩٦ ص، ٢٤ سم
(أ) دسلر، أندرو (مؤلف)
(ب) أ. بارسون، إدوارد (مؤلف مشارك)
(ج) عبد الكريم ، عبد المقصود (مترجم)
(د) العنوان ٥٥١,٦

رقم الإيداع ٥٤٦٣ / ٢٠١٢

الترقيم الدولى: I.S.B.N - 978-977- 216 - 009- 9

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

تصدير الطبعة الثانية

فى ثلاث سنوات منذ ظهور الطبعة الأولى، تحركت الأحداث المرتبطة بتغير المناخ بسرعة، وذكر التقرير الرابع للهيئة الحكومية الدوليـــة المعنيـــة بتغير المناخ القوة المستمرة للدليل العلمى على تغير المناخ، أسبابه الإنسانية السائدة، والمعدل المحتمل للتغيرات المستمرة وأخطارها، وأثارت مراجعـــة ستيرن والمناظرات التالية مناقشات أكثر جدية عن الخاصية طويلة المـــدى لأخطار تغير المناخ والطريقة المناسبة لتقييمها، وحان موعد الوفـــاء بـــأول تعهدات اتفاقية كيوتو[1] وفشلت أمم كثيرة فـــى الوفـــاء بتعهـــداتها، حتـــى والمناقشات تبدأ فى جزيرة بالى فى ٢٠٠٧ وتستمر فى كوبنهاجن فى ٢٠٠٩ سعت إلى إعادة تنشيط الفعاليات الدولية، وانشغلت الولايات المتحدة من جديد فى الجهود الدولية لتحقيق استجابة فعالة لتغير المناخ. وقدمت كثير من الأمم مبادرات سياسية مهمة، تشمل الاهتمام بوضع تشريعات شاملة تتعلق بالمناخ والطاقة فى كونجرس الولايات المتحدة. يتطلب تراكم هـــذه الأحـــداث هـــذا التنقيح، حتى إذا كانت الحركة السريعة المـــستمرة لـــسياسة تغيـــر المنـــاخ والسياسات قد تعنى أن تلخيص الأحداث الحديثة فى هذه الطبعـــة ســـيكون عمرها الافتراضى قصيرًا أيضًا.

---

(١) الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ومراجعة ستيرن، واتفاقية كيوتو: انظر المصطلحات فى نهاية الكتاب (المترجم).

لكــن لا يتحرك كل ما يتعلق بالمناخ بسرعة. على العكس، لم يحدث إلا تغير ضئيل فى الكثير من العناصر الأساسية للموضوع منذ كتابة الطبعة الأولى. ورغم أن المناخ له طبقات كثيرة من التغير علـــى فتـــرات زمنيـــة متعددة، فإن الديناميكيات الأساسية لغازات البيوت الزجاجية المسئولة عـــن تغير المناخ تعمل على مدى عقود أو أكثر. وبشكل مماثل فى نظام الطاقـــة، أكبر مصدر لتشوهات المناخ مسئول عنه الإنـــسان، تعمـــل الـــديناميكيات الأساسية لدورة رأس المال والتغير التكنولوجى على مدى عقود. وهذا هـــو السبب- كما نوضح بالتماثل مع قيادة ناقلات عملاقة فى نهاية الكتاب- فـــى عدم ظهور التأثير الكامل لمعظم التدخـــل المحتمـــل للحـــد من تغير المناخ أو الاستجابة له إلا بعد جهود تستمر لعقود. يجب أن يـــتم التـــدخل لتغييـــر المسار قبل تأثيراته، وفى مواجهة كثير من الشكوك. تتقدم المعرفة العلميـــة بتغير المناخ ببطء أيضا، فى معظمها. نضج الكثير مـــن مجـــالات البحـــث المرتبط بتغير المناخ إلى حد بعيد، وهكذا تتشكل باطراد الشكوك الرئيـــسية بشأن تغير المناخ، والمخاطر المرتبطة به، والاســـتجابات المحتملـــة. وقـــد تحدث اختراقات مفاجئة تغير كثيرًا فى الفهم السائد، لكنها تبدو غير محتملة إلى حد ما.

يرتبط بهذا التوتر السريع - البطىء ضرورة فهم الأحـــداث الحديثـــة. يمكن أن تبقى البنية الجوهرية لمشكلة المناخ دون تغير جوهرى، حتـــى إذا تحولت الاهتمامات العامة والأطر السائدة والتصريحات السياسية ســـطحَها. وهكذا يبقى الاستنتاج الأساسى فى الطبعة الأولى دون تغير جوهرى: يجب بدء العمل الجاد بشأن تغير المناخ فورًا لتجنب أخطار مهلكة، وإلحاح العمل

يزداد وتقل فرص تجنب الأخطار بتكلفة منخفضة مع تأخر كل عام. ربما يضيف حدوث فيضان النشاط الآن فى أمم متعددة ودوليا لتلك الخطوة المهمة المطلوبة لبدء إعادة توجيه الاستثمار إلى التحولات المطلوبة- لكنها لم تتضح بعد. ونحن نناقش هذا، ونشارك فى أمل واسع الانتشار بأن يتم التعامل مع تحديات المناخ بشكل صحيح فى النهاية، لدينا قليل من الثقة فى نجاح العملية الدولية الحالية. وفى حالة استمرار الجهود الحالية فى الفشل فى تقديم التقدم المطلوب بسرعة وبشكل ملموس، نفترض مقاربة بديلة تؤكد على قيادة أحادية قوية، إضافة إلى ما تقوم به مجموعة صغيرة من الأمم الكبرى.

بالإضافة إلى تحديث المناقشة لتعكس التطورات الحديثة فى العلم والتكنولوجيا والاقتصاد والسياسة والسياسات المتعلقة بتغير المناخ، قمنا أيضا باستغلال الفرصة لتقوية أجزاء صغيرة من الطبعة الأولى وجدناها ضعيفة. أهم تغير هو تقديم تمهيد أكثر تفصيلا عن العلم الأساسى للإشعاع الجوى المسئول عن تغير المناخ. بالإضافة إلى ذلك، أكملنا مناقشة المقولات المناقضة مع مناقشة المعرفة العلمية الحالية فى الفصل الثالث؛ ووسعنا مناقشة تقديرات التكلفة والفائدة، بما فى ذلك قسم يوضح أساس الخلافات فى التقييم الزمنى والخصم؛ وقدمنا معجما محسنا.

ما عدا هذه التغيرات، لم يتغير هدف الكتاب ولا جمهوره المستهدف. تبقى مساهمته الرئيسية تقدم فى الوقت ذاته تمثيلا أساسيا للقضية فى العلم والتكنولوجيا والاقتصاد والسياسة والسياسات المتعلقة بتغير المناخ وإلقاء الضوء على التفاعلات بين هذه المجالات، لتقديم فهم مؤسس بشكل جيد للوضع الذى نحن فيه، وكيف وصلنا إليه، وإلى أين نريد أن نمضى. مع هذا

الاتساع، نتوجه إلى القارئ المتعلم غير المتخصص الذى يسعى لمقدمة عن قضية تغير المناخ. بالإضافة إلى ذلك، بالنسبة للقراء المنخرطين فى قضية المناخ من جانب أو آخر - العلم، أو السياسة، أو السياسات - يهدف الكتاب إلى أن يريهم موضعهم فى اللغز الأكبر. فى التعليم، يبقى الكتاب مناسبا لفصول الكليات فى المستوى العالى من الطلاب أو مقدمة فى مستوى الخريجين والأساتذة فى تغير المناخ، أو السياسة أو السياسات البيئية، أو العلم والسياسة العامة، مع فصل أولى فى الفيزياء أو الكيمياء أو علم الأرض يساعد لكنه ليس ضروريا.

عمّقت السنوات القليلة التى انقضت منذ عملنا فى الطبعة الأولى إحساسنا بضرورة تناول تغير المناخ وخطره. وهذا فى ذهننا، كرّسنا جهودنا فى هذه الطبعة الجديدة لأبنائنا: ماتيو وجوشيوا وألكسندر ومايكل. على أمل أن تحفظ الاستجابة العالمية الحصيفة والوافية - من المؤكد أنها أكبر من تكون موضع تساؤل - لهم فرص حياة آمنة ومزدهرة ومُرْضية، وارتباطا بعالم طبيعى رائع، وهو ما أسعدنا.

College Station, Texas

Ann Arbor, Michigan

تصدير الطبعة الأولى

دخلت اتفاقية كيوتو ، أول معاهدة دولية للحد من مساهمات الإنسان فى تغير المناخ العالمى، حيز التنفيذ فى فبراير ٢٠٠٥. وبهذه العلامة الفارقة، دخلت التعهدات الملزمة لخفض انبعاث غازات البيوت الزجاجية، الانبعاث الذى يساهم فى تغير المناخ العالمى، موضع التنفيذ فى الكثير من الدول الصناعية فى العالم.

وقد عمَّق هذا الحدث أيضًا من الانقسامات السابقة بين أمم العالم التى استمرت لعقد تقريبًا. وأبرز هذه الانقسامات بين غالبية الدول الصناعية الغنية، بقيادة الاتحاد الأوروبى واليابان، التى انضمت للاتفاقية، والولايات المتحدة (لم تنضم لها إلا أستراليا من بين الأمم الصناعية الغنية)، التى رفضت الاتفاقية كما رفضت المقترحات الأخرى بشأن الإجراءات قصيرة المدى للحد من انبعاث غازات البيوت الزجاجية. حتى بين الأمم التى انضمت لاتفاقية كيوتو، يوجد تنوع هائل فى الجدية والخطوط الزمنية للتدابير التى تتبناها للحد من الانبعاث، وبالتالى فى احتمالية أن تحقق التخفيضات المطلوبة.

يوجد أيضًا انقسام كبير بين البلاد الصناعية والبلاد النامية. تتطلب اتفاقية كيوتو وقف انبعاث الغاز فقط من البلاد الصناعية. لا تقدم اتفاقية كيوتو أو الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ، وهى معاهدة سابقة، إلزامًا

معينا على الدول النامية للحد من الانبعاث فيها. وظهر هذا فى نقطة من أشد نقاط الاختلاف بشأن اتفاقية كيوتو- اختلاف حاد بشكل خاص حيث لا تنص الاتفاقية على التحكم فى الانبعاث فى الدول الصناعية سوى خمس سنوات فقط من ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٢. وفى صورتها الحالية، لا تتضمن أية سياسات أو التزامات بعد ٢٠١٢ سواء بالنسبة للدول الصناعية أو الدول النامية. بينما تمثل اتفاقية كيوتو خطوة أولى متواضعة باتجاه استجابة ملموسة لتغير المناخ، لا يوجد تقدم أساسى فى التفاوض بشأن التغيرات الأكبر طويلة المدى لتبطئ أو توقف أو تعكس أية تغيرات فى المناخ قد يتسبب فيها البشر.

وهذه الانقسامات السياسية تزداد حدة، صارت المناقشات العامة بشأن ما نعرفه عن تغير المناخ أكثر حرارة. ربما يكون تغير المناخ القضية البيئية الأكثر إثارة للنزاع التى رأيناها حتى الآن. تتبع القضية فى الأخبار أو المناظرات السياسية وسوف ترى جدلا عما إذا كان المناخ يتغير أم لا، وإن كانت أنشطة الإنسان تؤدى إلى تغيره أم لا، ومدى تغيره وسرعة تغيره فى المستقبل، ومدى ضخامة النتائج التى ستنجم وخطورتها، وما يمكن القيام به- وبأية تكلفة- ليكون أبطأ أو لإيقافه. هذه المناقشات قوية لأن المخاطر عالية. لكن المحير، والمزعج حقا، فى هذه المناقشات أنها تشمل خلافات عامة مريرة، بين الشخصيات السياسية والمعلقين وأيضًا بين العلماء، بشأن نقاط قد تبدو مسائل واضحة تمامًا فى المعرفة العلمية.

فى هذا الكتاب، نحاول توضيح المجادلات العلمية والسياسية المثارة حاليًا بشأن تغير المناخ. نتناول أولا قضايا علم الغلاف الجوى التى تشكل لب مناظرة علم تغير المناخ. نراجع المعرفة العلمية الحالية والشك بشأن

تغير المناخ وطريقة استخدام هذه المعرفة فى المناظرة العامة والسياسية، ونفحص التفاعلات بين المناظرة السياسية والعلمية- فى الواقع، لنتساءل كيف يمكن أن تكون مناظرة تغير المناخ مثيرة للنزاع إلى هذا الحد ومربكة إلى هذا الحد، حين يقول عدد كبير من المشاركين إنهم يؤسسون جدالهم على المعرفة العلمية.

ونوسع بؤرتنا، لنتناول التأثيرات المحتملة لتغير المناخ، والاستجابات المتاحة- فيما يتعلق بالخيارات التكنولوجية التى يمكن أن تتطور أو تنتشر، وبالسياسات التى قد يتم تبنيها. بالنسبة لهذه المناطق كما بالنسبة لعلم المناخ، نراجع المعلومات الحالية ونناقش نتائجها بالنسبة للفعل وكيف تُستخدَم فى المناظرة العامة والسياسية. أخيرًا، ندفع هذه الجدائل للمناظرة العلمية والتقنية والاقتصادية والسياسية معًا لنقدم خطوطا عامة لمسار يخرجنا من الجمود الحالى.

يستهدف الكتاب الجمهور المتعلم غير المتخصص. ربما يجعلك فصلان فى الفيزياء أو الكيمياء أكثر ارتياحًا إلى حد ما مع الشرح، لكنهما غير ضروريين. لا نفترض أية معرفة خاصة مسبقة باستثناء القدرة على قراءة الرسم البيانى. الكتاب مناسب لدعم دراسة حالة تغير المناخ فى فصول الكليات عن السياسة البيئية أو العلم والسياسة العامة.

ساعد عدد كبير فى جعل هذا المشروع مثمرا. قدم تعليقات مفيدة على المخطوطة كل من ديفيد بالون وستيف بورتر ومارك شاهينين وسكوت ستيف، بالإضافة إلى المشاركين فى السيمينار فى جامعة بريتش كولومبيا،

وكلية الصحة العامة فى جامعة ميتشجان ، ومدرسة الحقوق فى جامعة ميتشجان. تلقت أكاديمية تطوير التعليم دعما لهذا المشروع من منحة ناسا لبرنامج الباحث الجديد لجامعة مريلاند، وأيضا من قسم الأرصاد الجوية وكلية الكمبيوتر والعلوم الرياضية والفيزيائية فى جامعة مريلاند. اعترفت أكاديمية تطوير التعليم بامتنان بكل هذه المساهمات وتخص بالذكر مساهمات البروفيسور ديفيد دسلر ***Dessler***، على المناقشات التى تطورت ونقحت نتيجة لها الأفكار المبكرة لهذا الكتاب.

الفصل الأول

تغير المناخ العالمى
نوع جديد من مشاكل البيئة

١-١ الخلاف حول تغير المناخ

تغير المناخ العالمى، من بين كل قضايا البيئة التى ظهرت فى العقود القليلة الماضية، هو الأكثر خطورة، والأكثر صعوبة فى المعالجة. إنه الأكثر خطورة نتيجة شدة الأضرار التى قد يجلبها. لا تزال الكثير من أوجه المجتمع الإنسانى ورفاهيته- أين نعيش، كيف نبنى، كيف نتحرك، كيف نكسب قوت يومنا، وما نفعله للاستجمام- تعتمد على مجال حميد وضيق نسبيا من ظروف المناخ، حتى لو تقلص هذا الاعتماد وصار مبهمًا فى المجتمعات الصناعية الحديثة بثرائها وبما تستخدمه من تكنولوجيا. ويمكن رؤية هذا الاعتماد على المناخ فى الأضرار الاقتصادية والمعاناة الإنسانية نتيجة تغيرات المناخ فى القرن الأخير، من قبيل دورة "النينو"[١] والجفاف الذى يستمر لسنوات ويحدث فى غرب أمريكا الشمالية كل بضعة عقود. إن

---

(١) النينو *El Niño*: انظر المصطلحات (المترجم).

تغيرات المناخ التى برزت فى هذا القرن أكثر بكثير من تلك التى حدثت فى القرن العشرين، ومن المحتمل أن تكون تأثيراتها الإنسانية أكبر بما يتناسب مع زيادتها. إضافة إلى ذلك، لا يؤثر المناخ بشكل مباشر فقط على البشر: يؤثر أيضا على العمليات البيئية والإيكولوجية الأخرى، وتشمل الكثير مما قد لا يعرف على الفور ارتباطه بالمناخ. وبالتالى، يمثل التغير الكبير أو السريع فى المناخ تهديدًا إضافيًا للقضايا البيئية الأخرى من قبيل نوعية الهواء والماء، ويمثل خطرًا على الأنظمة البيئية والتنوع البيولوجى، وتهديدًا للمناطق الساحلية والأراضى الرطبة وطبقة الأوزون فى الاستراتوفير *stratospheric*.

التوقعات بشأن تغير المناخ فى المستقبل موضع شك، بالطبع. إن المعرفة عن تغير المناخ، مثل كل المعرفة العلمية، معرضة للشك. سوف نناقش الشك، وكيف نتخذ القرارات بشأن تغير المناخ فى ظل الشك، بشكل مسهب فى هذا الكتاب. لكن لا يتضمن مجرد أن سكون شىء ما موضع شك أية نصيحة بشأن ما علينا القيام به بشأنه. بشكل خاص، لا يعنى بالضرورة أن المسار الصائب ألا نفعل شيئا حتى نتأكد. لن ننتظر حتى نتأكد من أن العلة تهدد الحياة قبل أن نتصل بالطبيب، أو ننتظر حتى نتأكد أننا سندخل بالسيارة فى الشجرة قبل أن نبتعد عنها. أحيانا لا نأتى بفعل إلا إذا كنا على ثقة تامة من أنه المسار الصحيح، لكن فى أوقات أخرى، نأخذ حذرنا حتى من أخطار غير محتملة إلى حد ما. ويعتمد الأمر على خصائص كل حالة.

وبالنسبة لتغير المناخ، النقطة الأساسية بشأن الشك هى أنه يقطع الطريقين كليهما. بداية بأفضل تقدير لتغير المناخ فى هذا القرن، يعنى كون

التقدير موضع شك أن التغيرات الفعلية يمكن أن نكتشف أنها أقل من التقدير الحالى، أو أكبر. إن لم نكن نفضل خوض الأخطار عالية الخطورة- وهو ما لا يفضله الناس عادة- فإن هذا يعنى أن الشك يجعل تغيير المناخ أكثر خطورة، وليس أقل خطورة. وتكون المخاطر أكبر. تشمل المظاهر الحالية لتغير المناخ فى القرن الحالى، فى الحد الأعلى من مجال الشك، تغيرات سريعة مستمرة تبدو سوابقها قليلة فى تاريخ الكرة الأرضية، وتأثيراتها على رفاهية الإنسان ومجتمعه يمكن أن تكون كارثة. لا يعنى هذا أن هذه التغيرات المتطرفة مؤكدة، أو حتى محتملة- لكنها فقط خطيرة بما يكفى لوضعها فى الحسبان ونحن نتخذ قراراتنا.

بالإضافة إلى أن تغير المناخ المشكلة البيئية الأكثر خطورة التى واجهها المجتمع حتى الآن، ستكون معالجتها الأكثر صعوبة أيضا. كثيرا ما تحمل القضايا البيئية مقايضات صعبة ونزاعات سياسية، لأن حلها يتطلب الحد من بعض الأنشطة المنتجة اقتصاديا أو تكنولوجيا تتسبب فى أضرار بيئية غير متعمدة. مثل هذه التغيرات مكلفة وتولد معارضة. لكن بالنسبة لقضايا بيئية سابقة مكَّن التقدم التكنولوجى والسياسات الحكيمة من إحداث نقص كبير فى الضرر البيئى بتكلفة متواضعة وبعض التشوه، ومن ثم تبين أن هذه المقايضات والنزاعات قابلة للمعالجة بشكل تام. ويقدم التحكم فى انبعاث الكبريت الذى يساهم فى الأمطار الحمضية فى الولايات المتحدة مثالا لذلك. حين يُحرَق فحم يحتوى على مستويات عالية من الكبريت، فى محطات توليد الكهرباء أو مرافق صناعية أخرى يجعل ثانى أكسيد الكبريت ($SO2$)، المنبعث مع الدخان، المطر حمضيا، المطر الذى يسقط باتجاه دخان المداخن،

مسببا الأضرار للبحيرات والتربة والغابات. على مدار آخر ٢٠ سنة، أدى اتحاد التقدم فى التكنولوجيا لإزالة الكبريت من غازات المداخن، والسياسات المصممة جيدا لتقديم حوافز لتبنى هذه التكنولوجيا، وحرق الفحم منخفض الكبريت، أو التحول إلى الأنواع الأخرى من الوقود، أدى إلى تقلص كبير فى انبعاث الكبريت بتكلفة منخفضة نسبيًا ودون تشوه بالتحول إلى التيار الكهربى.

سيكون طرح تغير المناخ أصعب لأن الأنشطةَ التى تتسبب فيه- بشكل أساسى حرق وقود حفرى للحصول على طاقة- أساسٌ أكثر أهمية لاقتصاديات العالم، وأقل قابلية للإصلاحات التكنولوجية من أسباب المشاكل البيئية الأخرى. يقدم الوقود الحفرى ٨٠% تقريبا من إمدادات الطاقة فى العالم، ولا يوجد بديل حديث متاح يمكن أن يحل مكان مصدر الطاقة الهائلة بسرعة أو بتكلفة زهيدة. وبالتالى، يحمل تغير المناخ أخطارًا أعلى من القضايا البيئية الأخرى، على مستوى شدة الأضرار المحتملة إذا استمرت التغيرات على حالها، وعلى مستوى التكلفة الظاهرة وصعوبة خفض التغيرات. بهذا المعنى، تغير المناخ هو الأول ضمن جيل جديد من المشاكل البيئية الصعبة التى سيواجهها المجتمع فى هذا القرن، والنطاق المتزايد من أنشطة الإنسان يضغط على العمليات على نطاق الكوكب.

حين تكون للقضايا السياسية رهانات مرتفعة، تكون المناظرات السياسية عادة مثيرة للنزاع. ولأن الأخطار المحتملة لتغير المناخ بالغة الخطورة، والوقود الحفرى الذى يساهم فيه بالغ الأهمية بالنسبة للاقتصاد

العالمى، علينا أن نتوقع سماع آراء معارضة قوية عما يجب عمله بشأن تغير المناخ- ونحن نتوقع. لكن حتى إذا وضعنا الرهانات المرتفعة للقضية فى الاعتبار، فإن عدد الدعاوى المتضاربة وشدتها التى تتطور بشأن تغير المناخ كبير جدًا.

يقول ألجور النائب السابق لرئيس الولايات المتحدة:

"اليوم أفرغنا ٧٠ مليون طن من التلوث الحرارى العالمى فى قشرة رقيقة من الغلاف الجوى المحيط بكوكبنا، كما لو كان بالوعة مفتوحة. وغدًا سوف نفرغ كمية أكبر قليلا، بتركيز متراكم يصطاد الآن حرارة بكميات متزايدة من الشمس. ونتيجة لذلك، الأرض مصابة بالحمى. والحمى تزداد. وقد أخبرنا الخبراء إنها ليست وعكة عابرة ستبرأ من نفسها. طلبنا رأيا ثانيًا، وثالثًا، ورابعًا. والنتيجة الثابتة، وتعاد صياغتها بتحذير مطرد، أن هناك خطأ أساسيا يقع. يكمن الخطأ فينا، وعلينا إصلاحه.

نحن، - أبناء الجنس البشرى - نواجه طارئا على مستوى الكوكب- تهديدًا لبقاء حضارتنا يحشد احتمالا مشئوما ومدمرًا حتى ونحن نجتمع هنا. لكن هناك أيضًا أخبارا تبعث على

الأمل: لدينا القدرة على حل هذه الأزمة وتجنب أسوأ النتائج- لا كلها- إذا عملنا بجرأة وحسم وسرعة."(١)

ويقول السيناتور الأمريكى والمرشح السابق للرئاسة جون ماكين *McCain*:

"يساهم حرق البترول وأنواع الوقود الحفرى الأخرى فى التجمع الخطير لغازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى للأرض، مغيِّرًا مناخنا مع احتمال ثوران اجتماعى واقتصادى وسياسى هائل. يشعر العالم الآن بالفعل بالتأثيرات الهائلة لارتفاع الحرارة فى العالم ونتوقع نتائج رهيبة أكثر بكثير إذا سمحنا باستمرار انبعاث الطوفان المتزايد من غاز البيوت الزجاجية، والدمار الرهيب الذى يلحق بما خلق الرب. حذر حديثًا مجموعة من كبار الضباط العسكريين المتقاعدين من الثوران المحتمل نتيجة الصراع على المياه، والأرض الصالحة للزراعة والمصادر الطبيعية الأخرى بضغط من كوكب ترتفع حرارته. المشكلة ليست من إبداعات هوليود وليس القيام بشىء حيالها تفاهة تشبه النوبات الهستيرية لكاسندرا. إنه تحدٍّ خطير وملحٌّ على المستوى الاقتصادى والبيئى والأمن القومى."(٢)

---

(1) – Nobel lecture, Oslo, December 10, 2007.

(2) – Speech on Energy and Policy, April 23, 2007.

رئيس الوزراء البريطانى السابق تونى بلير ورئيس وزراء هولندا جان بيتر بلكيننذ:

"لم يكن علم تغير المناخ واضحا قط. دون مزيد من العمل، يقدّر العلماء الآن أننا قد نكون فى سبيلنا لارتفاع فى درجة الحرارة بمقدار ٣-٤ درجات مئوية عما قبل المستويات الصناعية. لدينا فقط فرصة من ١٠-١٥ سنة لاتخاذ الخطوات التى نحتاج إليها لتجنب عبور نقط حرجة تمثل كارثة. ربما يكون لذلك نتائج خطيرة بالنسبة لآفاق نمو اقتصادنا، وأمن شعبنا وإمدادات مواردنا، وخاصة الطاقة. لذا علينا أن نعمل بسرعة."(١)

الأمين العام للأمم المتحدة بان كى مون:

"تجتمع معا فى بالى لنواجه التحدى الواضح لعصرنا. نجتمع لأن وقت المواربة انتهى. العلم واضح. تغير المناخ يحدث. التأثير حقيقى. حان وقت الفعل."(٢)

السيناتور الأمريكى جيمس إنهوف:

"كل من يلتفت ولو بشكل خاطف إلى القضية يفهم أن العلماء يختلفون بقوة عما إذا كانت الأنشطة الإنسانية مسئولة عن ارتفاع حرارة العالم، أو ما إن كانت تلك الأنشطة ستساهم فى

---

(١) *Letter to Matti Vanhanen* (رئيس وزراء فنلندا، ورئيس الاتحاد الأوروبى) ٢٠ أكتوبر ٢٠٠٦.

(٢) كلمة فى افتتاح مؤتمر بالى عن تغيير المناخ، ١٢ ديسمبر ٢٠٠٧.

كوارث طبيعية... بكل الهستيريا، بكل الخوف، بكل العلم الزائف، هل يمكن أن يكون ارتفاع الحرارة فى العالم، الناجم عن تصرفات الإنسان، أكبر خدعة على الإطلاق اقترفت بحق الشعب الأمريكى. من المؤكد أن الأمر يبدو بهذا الشكل."(١)

"بالإضافة إلى ذلك، أحيانا ما لا تطرحه وسائل الإعلام غالبا نقاط الضعف فى نظرية أن CO_2 كان القوة الدافعة فى ارتفاع الحرارة فى العالم. يفشل المتشائمون فى تقديم تفسير مناسب لأسباب بدء ارتفاع درجات الحرارة فى نهاية العصر الجليدى القصير فى حوالى ١٨٥٠، قبل أن يمكن لارتفاع انبعاث CO_2 بفعل الإنسان على المناخ. ثم حوالى ١٩٤٠، بالضبط وقد ارتفع CO_2 بفعل الإنسان بحدة، بدأت درجات الحرارة فى الانحدار حتى سبعينيات القرن العشرين، مما دفع وسائل الإعلام وكثيرًا من العلماء إلى الخوف من قدوم عصر جليدى. أكرر، تنخفض درجات الحرارة بعد انفجار انبعاث CO_2. إذا كان CO_2 القوة الدافعة لتغير المناخ العالمى، لماذا يتجاهل الكثيرون فى وسائل الإعلام عددا كبيرا من العلماء المتشككين الذين يستشهدون بهذه الحقائق المزعجة الواضحة إلى حد ما؟"(٢)

"بينما تبنى العلماء المعارضون (...) آراء متباينة، فإنهم عموما يجتمعون حول عدة نقاط أساسية: (١) كوكب الأرض

---

(١) "علم تغير المناخ"، بيان للسيناتور جيمس م. إنوف، ٢٨ يوليو ٢٠٠٣.

(2) *Hot & Cold Media Spin Cycle: A Challenge to Journalists Who Cover Global Warming." Senate Floor Speech, Sen. Inhofe, October 25, 2006.*

جيد حاليا مع التقلب الطبيعى فى المناخ. (٢) تتولد كل المخاوف بشأن المناخ من نموذج للتوقعات بالكمبيوتر لم يبرهن على صحته. (٣) يستمر قدر هائل من الدراسات التى يراجعها الرفاق فى فضح مخاوف ارتفاع $CO2$. (٤) وضع "الإجماع" لأغراض سياسية، وليست علمية."[1]

البروفيسور ريتشارد لندزن فى معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا:

"يدمن التصريحات العلمية المبهمة عن المناخ من لهم اهتمام راسخ بالتحذير، ليرفعوا الدعم السياسى من أجل مؤشرات سياسة تقدم موارد لمزيد من البحث العلمى لتغذية مزيد من التحذير لزيادة الدعم السياسى. رغم كل شىء، من يخصص أموالا للعلم- سواء للإيدز، أو الفضاء، أو المناخ- حيث لا يكون هناك شىء يستدعى التحذير حقا؟ فى الحقيقة، نجاح نزعة التحذير من تغير المناخ يمكن أن توضع فى الاعتبار فى زيادة الإنفاق الفيدرالى على أبحاث المناخ من بضع مئات من ملايين الدولارات قبل ١٩٩٠ إلى ١,٧ بليون دولار اليوم. ويمكن أيضا رؤيته فى الإنفاق المرتفع على التكنولوجيا الشمسية وتكنولوجيا الرياح والهيدروجين والإيثانول والفحم النقى، وعلى قرارات الاستثمار فى أنواع الطاقة الأخرى.

---

(1) "Global Warming 'Consensus' in Freefall," Senate Floor speech, January 8, 2009.

لكن هناك بعدا آخر شريرا لهذا السعار فى تقديم الدعم. يـرى العلماء المعارضون لنزعة التحذير مخصصات المنح الخاصـة بهم تختفى، ويُسخر من أعمالهم، ويوصمون بـأنهم عمـلاء لرجال الصناعة، وبالابتذال العلمى، أو بما هو أسوأ. وبالتالى، يكتسب الكذب بشأن تغير المناخ تصديقا حتى إذا حلق فى وجه العلم الذى يفترض أن يكون أساسًا له."[1]

البروفيسور روى سبنسر *Roy Spencer* من جامعة ألاباما *Alabama*:

"بالنسبة للعلماء الذين يقدرون السمعة العلمية، أنصحهم بـأن ينأوا بأنفسهم فى الدعاوى التـى تحفزهـا الـسياسة بـشأن 'الإجماع العلمى' حول أسباب ارتفاع حـرارة العـالم- قبـل فـوات الأوان. لا تدع خمسة نرويجيين فى لجنة جائزة نوبـل يحكمون على ما هو علم جيد."[2]

وفاكلاف كلوس، رئيس جمهورية التشيك:

"بوصفى شخصا عاش معظم عمره فى ظـل نظـام شـيوعى، أشعر بالاضطرار إلى أن أقول إننى أرى التهديد الأكبر للحرية

---

(1) - "Climate of Fear: Global warming alarmists intimidate dissenting scientists into silence," op-ed, Wall Street Journal, April 12, 2006.
(2) - "Hey, Nobel prize winners, answer me this, "Heartland Institute, March 15, 2008, at www.globalwarmingheartland.org/Article.cfm?artd=23004.

والديمقراطية واقتصاد السوق والازدهار الآن فى نزعة بيئية طموحة وليس فى الشيوعية. هذه الأيدولوجيا تريد أن تستبدل بحرية الجنس البشرى وتطوره التلقائى نوعا من التخطيط المركزى (عالميا الآن)."(١)

من أكثر الجوانب إثارة للدهشة فى هذه المناظرة شدة الاختلافات المعلنة فيما قد نتوقع أنها مسائل بسيطة تتعلق بالحقائق العلمية، من قبيل ما إن كانت حرارة الأرض ترتفع وما إن كان الانبعاث الناتج عن نشاط الإنسان مسئولا عن هذا الارتفاع. هذه المواجهة العامة الحامية بشأن حالة المعرفة العلمية والشك- ليس فقط بين الشخصيات السياسية ومؤيدى السياسة، بل بين العلماء أيضًا- تترك بشكل مفهوم كثيرًا من المواطنين المهتمين بالأمر فى حيرة.

هدفنا فى هذا الكتاب توضيح مناظرة تغير المناخ. نسعى إلى مساعدة المواطن المهتم بالموضوع، وليس الخبير، لفهم ما هو معروف عن تغير المناخ، وبأى درجة من الثقة يُعرَف، لتطوير رأى مستنير عما ينبغى القيام به بشأن هذه القضية. وسوف نلخص حالة المعرفة والشك فى النقاط الأساسية فى علم المناخ، ونفحص كيف تتطور بعض المقولات البارزة فى المناظرة السياسية- بما فى ذلك بعض ما ورد فى الاقتباسات السابقة- فى ضوء المعرفة الحالية. هل يمكن أن نقول بثقة إن بعض هذه المقولات

---

(1)"Freedom, not climate, at risk," op-ed, Financial Times, June 13, 2007.

صحيح ببساطة وبعضها خطــأ ببساطــة، أم أنهــا نقاط من الشك الأصيل أو الاختلافات المشروعة فى التفسير؟

نلخص أيضًا الفهم الحالى للتأثيرات المحتملة على تغير المناخ والتكنولوجيا والسياسات والخيارات الأخرى المتاحة للتعامل مع المسألة. وهذه ليست مسائل علمية خالصة، رغم إمكانية معرفتها بواسطة المعرفة العلمية. بالإضافة إلى ذلك، نفحص كيف تتفاعل المناقشة العلمية والجدل السياسى. ويساعد هذا على إلقاء الضوء على أسباب قيام المناقشات العلمية بلعب مثل هذا الدور البارز فى المناظرة السياسية حول تغير المناخ، وخاصة كيف يمكن لهذه الخلافات الحادة أن تتأسس على نقاط يبدو أنها مسائل تتعلق بالمعرفة العلمية. ماذا يأمل مؤيدو السياسة من تحقيقه بالجدل على الملأ فى نقاط علمية، حين يفتقر معظمهم- مثل معظم المواطنين- إلى المعرفة والتدريب اللازمين لتقييم هذه المقولات؟ لماذا تظهر شخصيات سياسية كبيرة لتعلن عدم اتفاقها على مسائل علمية أساسية حين يكون لديهم مدخل جاهز للخبراء والمرشدين العلميين لتوضيحها لهم؟ وأخيرًا، ما تأثيرات مثل هذا المزج بين المناقشات العلمية والسياسية على عملية اتخاذ القرار السياسى؟

رغم وجود مساحة واسعة للأمانة، ثمة خلاف مؤسس على المعرفة بشأن تغير المناخ، ونرى أن المسألة تصبح مشوشة إلى حد بعيد ومثيرة للنزاع أكثر مما ينبغى نتيجة إساءة تفسير حالة المعرفة العلمية فى المناظرة السياسية، وإساءة الفهم وإساءة تقديم مدى الشك فى نقاط علمية محورية بشأن تغير المناخ وأهمية هذه الشكوك فيما يجب القيام به.

قبل أن ننهمك فى هذه المسائل، يقدم القسمان التاليان من هذا الفصل خلفية ضرورية. يقدم القسم ١-٢ خلفية علمية موجزة وتمهيدًا عن مناخ الأرض، وتأثير البيوت الزجاجية، ونماذج المناخ، وكيف أدى نشاط الإنسان إلى زيادة غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى. ويقدم القسم ١-٣ تاريخا موجزًا للسياسات والمؤسسات الحالية المهتمة بتغير المناخ، لتقديم السياق السياسى للمناظرة الحالية.

١-٢ المناخ وتغير المناخ: تمهيد علمى

١-٢-١ ما المناخ؟

مناخ مكان، أو منطقة، أو الأرض كلها، متوسط أحوال الأرصاد الجوية التى تحدث عبر الزمن- الطقس المتوسط. على سبيل المثال، فى شهر نوفمبر بين عام ١٩٧١ وعام ٢٠٠٠، كان متوسط درجة الحرارة العظمى فى واشنطون ١٤ درجة مئوية، ومتوسط درجة الحرارة الصغـرى ١ درجة مئوية، ٠,٣ سم سقوط المطر. تحدد هذه القيم المتوسطة، مع متوسطات كميات الأرصاد الأخرى، مثل الرطوبة وسرعة الرياح والغيوم وطبقة الجليد والثلوج، مناخ نوفمبر فى واشنطون فى تلك الفترة.

بينما يتكون المناخ من متوسط أحوال الأرصاد، يتكون الطقس من أحوال الأرصاد فى وقت معين. على سبيل المثال، فى ٢٩ نوفمبر ١٩٩٩، فى واشنطون، كانت درجة الحرارة العظمى ٥ درجات مئوية، والصغرى - ٣، ولم تسقط أمطار. فى ذلك اليوم من نوفمبر، كان الطقس فى واشنطون

أكثر بـــرودة وجفـــافًا إلـــى حـــد ما من متوسط حالة المناخ فى واشنطون فى نوفمبر.

الطقس مهم بالنسبة للقرارات اليومية قصيرة المدى. هل ينبغى أن تأخذ مظلة حين تخرج غدًا؟ هل يقتل الصقيع النباتات إذا تركت فى الهواء الطلق هذه الليلة؟ هل نهاية هذا الأسبوع مناسبة للذهاب للتزحلق على الجبال؟ هل ينبغى أن تخطط لحفلتك فى نهاية هذا الأسبوع داخل المنزل أم فى الهواء الطلق؟ فى كل حالة من هذه الحالات، تهتم بالأحوال فى يوم معين، وليس متوسط الأحوال على المدى البعيد- بالطقس لا المناخ.

المناخ مهم بالنسبة للقرارات طويلة المدى. إذا كنت تدير مرفقا كهربيا، فعليك أن تهتم بالمناخ لأنه لو ارتفع متوسط درجة حرارة الصيف، يشغل الناس المكيفات أكثر وقد تحتاج إلى بناء المزيد من المولدات لتلبية الاحتياجات الكهربية المطردة. وإذا كنت مسئولا فى مدينة، فسوف تهتم بالمناخ لأن إمدادات المياه فى المدن تأتى عادة من الخزانات التى تغذيها الأمطار أو الثلوج. التغير فى متوسط درجة الحرارة أو توقيت سقوط الأمطار أو كميتها يمكن أن يغير إمدادات المياه أو الاحتياجات إليها. وإذا تغير المناخ، فقد تحتاج المدينة إلى توسيع القدرة على تخزين المياه أو نقلها، أو العثور على إمدادات جديدة، أو تطوير سياسات للحد من استخدام المياه فى أزمنة الجفاف. فى القسم ١-٢-٦ فيما يلى، نعود إلى الفرق بين الطقس والمناخ، فى مناقشة الاختلافات فى إمكانية التنبؤ على أساسها.

١-٢-٢ الإشعاعات الكهرومغناطيسية:

لفهم كيف يمكن أن يتغير المناخ، علينا فى البداية أن نتناول الأسباب التى تجعل المناخ بهذه الصورة، فى أماكن معينة وفى الأرض عمومًا. عكف العلماء على دراسة هذه المسائل منذ بدايات القرن التاسع عشر، بادئين بأكبرها على الإطلاق: لماذا درجة حرارة الكرة الأرضية بهذا الشكل؟

ضوء الشمس مصدر الطاقة بالنسبة لمناخ الأرض، وهو شكل من **الإشعاعات الكهرومغناطيسية**. وتشمل الإشعاعات الكهرومغناطيسية كل الأضواء التى يمكن أن نراها، إضافة إلى الإشعاعات الأخرى، الأضواء الأخرى، التى لا يمكن أن نراها. تتكون الإشعاعات الكهرومغناطيسية من تيار من **الفوتونات** *photons*، حزم ضئيلة متميزة من الطاقة. لكل فوتون حجم، أو **طول موجة**، يحدد كيفية تفاعله مع المادة فى العالم. ويتراوح طول موجة معظم الفوتونات المنبعثة من الشمس بين ٠,٣-٠,٨ ميكرون.[١] وهذا أيضا مجال أطوال الموجات التى يمكن أن تراها عين الإنسان. تطورت عيوننا، وعيون الحيوانات الأخرى، لتكون حساسة لأطوال هذه الموجات بسبب المزايا الحيوية للقدرة على رؤية الإشعاعات الموجودة بقوة فى البيئة. فى المجال المرئى، يدرك البشر أطوال الموجات فى صورة لون. نرى أطوال الموجات حول ٠,٣ ميكرون بنفسجية. ومع زيادة طول الموجة، يتحول اللون الذى ندركه إلى اللازوردى، ثم الأزرق، والأخضر، والأصفر،

---

(١) الميكرون أو الميكرومتر واحد على مليون من المتر أو واحد على ألف من المليمتر. والمليمتر حوالى عرض حرف فى هذا الهامش.

والبرتقالى، وأخيرًا الأحمر بطول موجة ٠,٨ ميكرون تقريبًا. الفوتونات التى طول موجاتها أكبر، أكبر من الأحمر، تسمى **تحت الحمراء** ولا يستطيع البشر رؤيتها.

تأتى معظم الإشعاعات الكهرومغناطيسية فى الكون من المادة، من خلال عملية تسمى **إشعاع الجسم الأسود** ***blackbody radiation***. إشعاع الجسم الأسود فى كل مكان. عمليا ينبعث من كل ما فى الكون، وكل شىء فى الحياة، فوتونات باستمرار. إن الفوتونات تنبعث منك الآن، كما تنبعث من كل ما حولك: الحوائط ومكتبك وكلبك وهذا الكتاب. يبرق كل شىء.

لكن إذا كانت الإشعاعات تنبعث من كل ما حولك، لماذا لا تراها براقة؟ يمكن رؤية الإجابة فى الشكل ١-١، الذى يوضح طول موجات الفوتونات المنبعثة من أشياء فى ثلاث درجات حرارة مختلفة. بالنسبة لشىء فى درجة حرارة الغرفة، حوالى ٢٠ درجة مئوية، تنبعث كل الفوتونات تقريبًا بموجات أطول من ٤ ميكرون. هذه الفوتونات تحت الحمراء يمكن رصدها بالكاميرات تحت الحمراء ونظارات الرؤية الليلية، لكن لا يمكن لعين الإنسان رؤيتها[١].

وحين ترتفع درجة حرارة الشىء، تزداد كمية الطاقة المنبعثة منه فى صورة إشعاع الجسم الأسود. تُعرف العلاقة بين درجة الحرارة وجملة الطاقة

---

(١) وهذا يفسر مصطلح "الجسم الأسود". الجسم الأسود شىء مثالى يمتص كل الفوتونات التى تسقط عليه، وتنبعث منه فوتونات بأطوال موجات يمكن تحديدها بدرجة حرارته. فى درجة حرارة الغرفة، يبدو مثل هذا الشىء أسود فى عين الإنسان.

المشعة بقانون ستيفان بولتزمان[١]، الذى ينص على أن الطاقة المنبعثة تتناسب مع ربع شدة الحرارة. وهكذا إذا تضاعفت درجة حرارة شيء، يزداد معدل الطاقة المنبعثة بعامل ٢ ⁴ أو ١٦. وهذا يعنى أن شيئا فى درجة حرارة ٥٦٠٠ مئوية، مثل الشمس، يشع طاقة بسرعة أكبر مائة ألف مرة من شيء فى درجة حرارة ٢٠ مئوية.

لكن، كما يوضح الشكل ١-١، لا يأتى المعدل الأعلى من الإشعاع من انبعاث مزيد من الفوتونات لها أطوال الموجات نفسها فقط: والشيء ترتفع حرارته، يتحول مزيج الفوتونات المنبعثة منه إلى موجات أقصر. بالنسبة لشيء فى درجة حرارة ٢٢٠٠ مئوية (الرسم الأوسط فى الشكل ١-١)، تقريبا درجة حرارة قطعة حديد يستخدمها حداد، طول موجات معظم الفوتونات المنبعثة أكبر من أن تراها عين الإنسان، لكن بعضها يقع فى المجال المرئى. هذه الفوتونات المرئية فى النهاية الحمراء للمجال المرئى، وهكذا تبدو قطعة الحديد متوهجة بلون أحمر باهت: تصبح "حمراء ساخنة". يستخدم الحدادون هذا ليعرفوا متى تصير قطعة من المعدن ساخنة بدرجة كافية للعمل، والحاجة لرؤية هذا الوهج الأحمر الباهت من الأسباب التى تجعل الحدادين يعملون غالبًا فى ضوء خافت. الشمس، بتقريب مناسب، جسم أسود درجة حرارته ٥٦٠٠ مئوية. يوضح الرسم السفلى من الشكل ١-١ أن معظم الفوتونات المنبعثة من جسم فى هذه الدرجة تقع فى مجال مرئى للبشر.

---

(١) الشدة المشعة (الطاقة فى الثانية) فى وحدة المساحة تساوى σT^4، حيث σ ثابت (5.67×10^{-8} $W/m^2/K^4$) وتقاس درجات الحرارة بدرجات كلفين، درجات فوق الصفر المطلق، وتساوى درجة الحرارة المئوية زائد ٢٧٣,١٥.

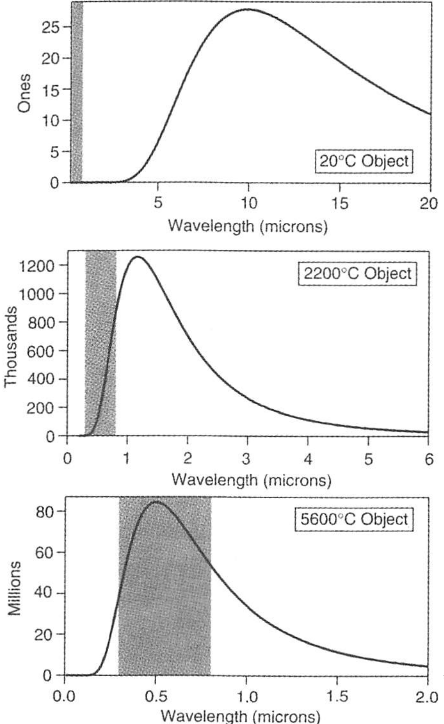
حين ترى شيئًا فى درجة حرارة الغرفة مثل هذا الكتاب، لا ترى فوتونات الجسم الأسود تنبعث من الكتاب، لأن تلك الفوتونات خارج المجال المرئى فى مجال الأشعة تحت الحمراء. لكنك فى الحقيقة ترى الفوتونات التى انبعثت من جسم أسود أكثر سخونة، الشمس أو شعيرة مصباح كهربى (٢٧٠٠ درجة مئوية تقريبًا) التى تصطدم بالصفحة وتنعكس إلى عينك.

١-٢-٣ توازن الطاقة على الكرة الأرضية

الفوتونات مهما يكن طول موجتها حزم ضئيلة من الطاقة. ومن ثم حين ينبعث فوتون من شىء، يحمل الفوتون قدرا ضئيلا من الطاقة بعيدا عن الشىء. وحين يسقط فوتون على شىء ويمتص، يكتسب الشىء القدر الضئيل من طاقة الفوتون. ومعظم الأشياء- بما فى ذلك أنت وكل ما حولك- ينبعث منها باستمرار فوتونات بأشعة الجسم الأسود، وفى الوقت ذاته تمتص فوتونات تنبعث من أشياء أخرى.

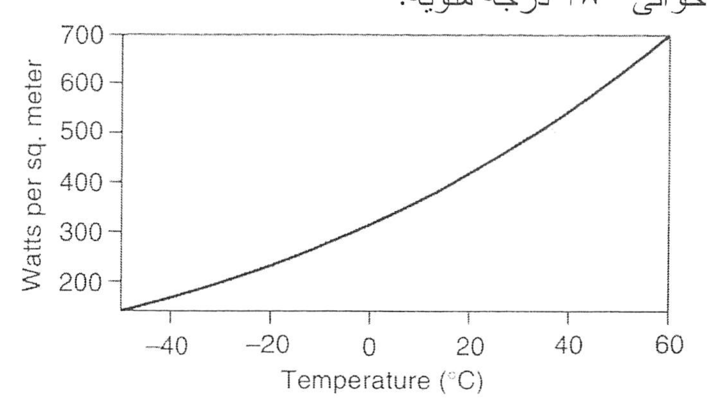
إذا فقد شىء طاقة أكبر بانبعاث الفوتونات مما يكتسبها بامتصاص الفوتونات، تنقص طاقته بالضرورة. وحيث أن درجة الحرارة مقياس لطاقة الشىء، فإن عدم التوازن بين الطاقة المنبعثة والممتصة يؤدى إلى هبوط فى درجة حرارة الشىء. وبالمثل، إذا اكتسب شىء طاقة أكبر بامتصاص الفوتونات مما فقده بانبعاثها، ترتفع درجة حرارته بالضرورة. وإذا كان معدل اكتساب الطاقة بالامتصاص والفقد بالانبعاث متساويين، تبقى درجة حرارة الشىء ثابتة: تكون فى حالة اتزان أو ثبات.

كل الفوتونات التى تصطدم بالأرض تأتى من الشمس تقريبا. كمية الطاقة الشمسية التى تصطدم بالأرض فى الثانية هائلة حقا: ١٥٤ ألف تريليون وات، أو فى المتوسط ٣٤٢ وات/م٢ من سطح الأرض. ومنها، ينعكس حوالى ٣٠% عائدًا إلى الفضاء بواسطة السحب والثلج والجليد والأسطح الأخرى فاتحة اللون، وهكذا يمتص سطح الأرض والغلاف الجوى ٢٤٠ وات/م٢.



الشكل ١-١ فوتونات منبعثة بأطوال موجات مختلفة، من أشياء فى ثلاث درجات حرارة مختلفة. المحاور الرأسية (من أعلى إلى أسفل) فى وحدات واحد، وألف، ومليون وات/م٢ من السطح المشع، لكل ميكرون من مجال طول الموجات. يوضح القضيب الرمادى فى كل لوحة مجال أطوال الموجات التى يمكن لعين الإنسان رؤيتها.

فى بدايات القرن التاسع عشر، طـرح عـالم الرياضـيات جوزيـف فوريه[1] سؤالا يبدو بسيطًا: حيث إن الأرض تمتص طاقة باسـتمرار مـن الشمس، لماذا لا تسخن حتى تصبح فى سخونة الشمس؟ يقدم إشعاع الجسم الأسود إجابة للسؤال الذى طرحه فوريه: الأرض والغلاف الجـوى (جـسم أسود كبير إلى حد ما) يشع طاقة إلى الفضاء، أيضًا بمعدل ٢٤٠ وات لكـل متر مربع تقريبا، موازنا بدقة الطاقة الممتصة من ضوء الـشمس. يمكننـا استخدام هذه المعادلة لتقدير ما يجب أن تكون عليه درجـة حـرارة سـطح الأرض. يوضح الشكل ١-٢ علاقة ستيفان بولتزمان التى طرحناهـا فيمـا سبق، ليبين كيف يختلف مقدار الطاقة المنبعثة من جسم أسود مـع درجـة الحرارة. يوضح الشكل ١-٢ أنه لإشـعاع ٢٤٠ وات/م٢، وبالتـالى حفـظ التوازن مع أشعة الشمس القادمة، ينبغى أن تكون درجـة حـرارة سـطح الأرض حوالى -١٨ درجة مئوية.



الشكل ١-٢ القوة الكلية التى يشعها جسم أسود بوصفها دالة لدرجة الحرارة وات/م٢.

---

(١) جوزيف فوريه *Joseph Fourier* (١٧٦٨-١٨٣٠): رياضى وفيزيائى فرنسى (المترجم).

وهذه الدرجة باردة ببشاعة. ولحسن الحظ، هذه أيضا خطأ. سطح الأرض أكثر دفئا من ذلك بكثير، درجة الحرارة المقبولة ١٥ درجة مئوية فى المتوسط. جاء الخطأ فى الحساب من افتراض أن الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من السطح تنطلق مباشرة إلى الفضاء. وهذه الفرضية يمكن أن تكون صحيحة إذا لم يكن للأرض غلاف جوى لكن الغلاف الجوى للأرض يمتص الأشعة تحت الحمراء بقوة كبيرة، مما يدفئ السطح بما يسمى "تأثير البيوت الزجاجية".

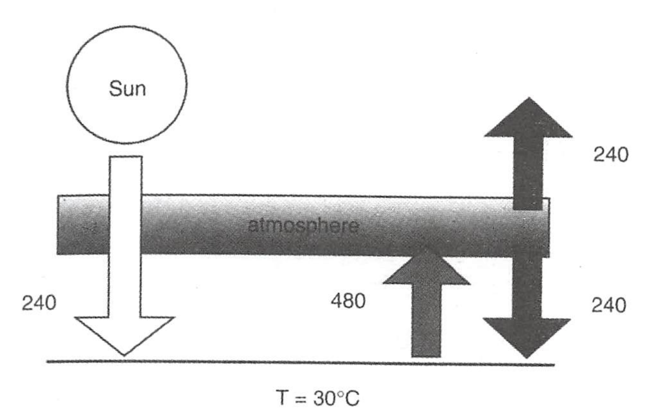
١-٢-٤ تأثير البيوت الزجاجية:

نذكِّر بأنه حيث أن الشمس جسم أسود درجة حرارته ٥٦٠٠ مئوية تقريبًا، فإن طول موجات الفوتونات فى ضوء الشمس فى معظمها ٠,٥ ميكرون تقريبًا. الغلاف الجوى للأرض شفاف بالأساس لهذه الفوتونات المرئية، وهكذا فإن تلك التى لا تنعكس تمر خلاله ويمتصها السطح. ولأن سطح الأرض وغلافها الجوى أبرد بكثير من الشمس، فإن الفوتونات التى تنبعث منهما فى مجال الأشعة تحت الحمراء، بطول موجات حول ١٠ ميكرون. والغلاف الجوى ليس شفافا لهذه الفوتونات، لكنه يمتصها بكفاءة هائلة.

الغلاف الجوى جسم أسود أيضًا، رغم أنه جسم غازى، وهو خاضع أيضًا لتوازن الطاقة: الطاقة الداخلة إليه تساوى الطاقة الخارجة منه. وليكون الغلاف الجوى فى حالة ثبات، ينبغى أن تنبعث منه طاقة تساوى تلك التى

يمتصها من الفوتونات تحت الحمراء المنبعثة من السطح. ولأن الأجسام السوداء تشع فى كل الاتجاهات، فإن نصف الفوتونات المنبعثة من الغلاف الجوى، فى المتوسط، تصعد باتجاه الفضاء، ويهبط النصف الآخر باتجاه السطـــح. والفــوتونات المنبعثـــة إلـــى أسفل باتجاه السطح يمتصها السطح أو الغلاف الجوى.

يمكننا أن نشيد نموذجًا بالغ التبسيط للمناخ، فيه يتكون الغلاف الجوى من طبقة واحدة ماصة وباعثة، وفقدان للطاقة فى الفضاء يأتى تماما من الغلاف الجوى، وليس سطح الكرة الأرضية. لموازنة الطاقة القادمة من الشمس، على الغلاف الجوى أن يشع فى الفضاء ٢٤٠ وات/م٢. لكن حيث أن الغلاف الجوى يشع إلى أعلى وإلى أسفل بالتساوى، ينبغى أن يشع أيضا ٢٤٠ وات/م٢ إلى أسفل باتجاه السطح. ونوضح هذا بشكل تخطيطى فى الشكل ١-٣.

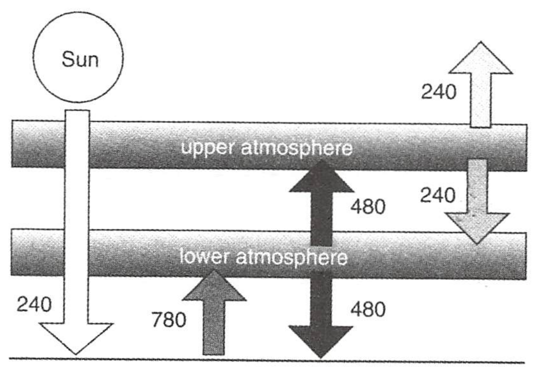


الشكل ١-٣ تدفق للطاقة بشكل مبسط فى كوكب له غلاف جوى مثل الأرض. يمثل السهم الأبيض إلى اليسار الطاقة الشمسية القادمة، والسهم الأوسط الفوتونات المنبعثة من الأرض، والسهم إلـــى أقصـــى اليمين الفـــوتونـــات المنبعثة مـــن الغلاف الجوى، فى وات/م٢.

تدفق الطاقة من الغلاف الجوى إلى السطح هو ما نعنيه "بتأثير البيوت الزجاجية". لا يسخن السطح نتيجة الأشعة المرئية من الشمس فقط، بل أيضا نتيجة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الغلاف الجوى. وحيث أن السطح يستقبل من الطاقة ما مجموعه ٤٨٠ وات/م٢ - ٢٤٠ وات من الشمس ومثلها من الغلاف الجوى- ينبغى أن ينبعث من السطح ٤٨٠ وات/م٢ ليكون متوازنا. يوضح الشكل ١-٢ أنه لإشعاع ٤٨٠ وات/م٢، ينبغى أن تكون درجة حرارة السطح ٣٠ درجة مئوية، حوالى ٤٨ درجة أعلى من درجة الحرارة من دون تأثير البيوت الزجاجية.

يوضح هذا النموذج البسيط كيف أن الغلاف الجوى الذى يمتص الأشعة تحت الحمراء يمكن أن يدفئ السطح. تذكر، مع ذلك، أن متوسط درجة حرارة سطح الأرض حوالى ١٥ درجة مئوية. يقدم هذا النموذج البسيط زيادة هائلة فى الحرارة لسببين: الأول، الغلاف الجوى ليس فعالا تماما فى اصطياد الأشعة تحت الحمراء. يمتص بعض أطوال الموجات تحت الحمراء بقوة، وبعضها بضعف، وبعضها لا يمتصه على الإطلاق، وهكذا لا تصل بعض الإشعاعات المنبعثة من السطح مباشرة إلى الفضاء. ثانيا، العمليات الفيزيائية التى تحدث فى الغلاف الجوى الحقيقى، مثل الحمل الحرارى- والتحرك العمودى للغلاف الجوى بواسطة العواصف وعمليات الطقس الأخرى- تساعد على تبريد السطح. وتبقى الفيزياء الأساسية لهذا النموذج صحيحة: التأثير المتراكم لامتصاص الأشعة تحت الحمراء بواسطة الغلاف الجوى تدفئة سطح الكرة الأرضية فوق المستوى الذى يمكن أن تكون عليه من دون الغلاف الجوى.

يوضح الشكل ١-٤ نموذجًا ثانيًا بسيطًا، لأرض بغلاف جوى أسمك وأكثر قدرة على الامتصاص نمثله بطبقتين منفصلتين. والفوتونات المنبعثة من السطح تمتصها الطبقة السفلى من الغلاف الجوى. والفوتونات المنبعثة من الطبقة العليا إلى أعلى تنطلق إلى الفضاء، وتلك المنبعثة من الطبقة العليا إلى أسفل تمتصها الطبقة السفلى.



الشكل ١-٤ تدفق للطاقة مبسط فى كوكب بغلاف جوى أسمك وامتصاص أقوى للأشعة تحت الحمراء. يمثل السهم الأبيض إلى اليسار الطاقة الشمسية القادمة. وتمثل الأسهم الأخرى من اليمين إلى اليسار الفوتونات المنبعثة من الطبقة السفلى من الغلاف الجوى، والطبقة العليا من الغلاف الجوى، والسطح. والقيم وات/م^{٢}.

فى هذه الحالة، يتسرب فقط ثلث الفوتونات المنبعثة من السطح إلى الفضاء فى النهاية. ويتم اصطياد الثلثين الآخرين فى الغلاف الجوى ويمتصهما السطح فى النهاية. وحيث ينبغى أن يكون الانبعاث الكلى إلى الفضاء ٢٤٠ وات/ م^{٢} لإحداث توازن مع ضوء الشمس القادم، ينبغى للسطح إذن أن يطلق ثلاثة أضعاف هذا المعدل، أو ٧٢٠ وات/ م^{٢}. يوضح الشكل

١-٢ أنـــه لإطـــلاق ٧٢٠ وات/ م٢، يجب أن تكون درجة حرارة السطح ٦٢ مئوية. وغلاف جوى أكثر سمكا يمتص كمية أكبر من الأشعة تحت الحمراء يجعل السطح أكثر سخونة.

وحيث أن هذه التدفئة للسطح بواسطة الغلاف الجوى وُصِفتْ أول مرة فى القرن التاسع عشر، فقد عرفت على نطاق واسع "بتأثير البيوت الزجاجية". فى وقت أحدث، قورنت بلف بطانية حــول الأرض. ومع ذلك، لا يتسم أى من هذه التشبيهين بالدقة، حيث تعمل البطاطين والبيوت الزجاجية أساسًا بإبطاء الهروب الفيزيائى للهواء الدافئ وليس بتعطيل مرور الأشعة إلى الفضاء.

مجرد وجود غلاف جوى لا ينتج تأثير البيوت الزجاجية: ينبغى أن يمتــص الغـــلاف الجـــوى الأشعة تحت الحمراء. على الأرض، يتكون ٩٦-٩٩% من الغلاف الجوى من جزيئات النيتروجين (*N2*) والأكسجين (*O2*) والغاز الخامل الأرجون (*Ar*). لا تمتص هذه الجزيئات البسيطة الفوتونات تحت الحمراء ولا تطلقها، وهكذا لا تولد تأثير البيوت الزجاجية ولا تدفئ السطح. فى الحقيقة، تحدث عدة مكونات أخرى تأثير البيوت الزجاجية، وتجعلها أشكال جزيئاتها الأكثر تعقيدًا تمتص الأشعة تحت الحمراء: وهى أساسًا بخار الماء وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة إلى بضعة مكونات أخرى.

بخار الماء (*H2O*) أهم غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى، وهو مسئول عن حوالى ثلثى تأثير البيوت الزجاجية. يختلف تركيز بخار الماء اختلافا كبيرا. قرب السطح فى المناطق الاستوائية الرطبة ربما يصل إلى ٤%، بينما فى المناطق القطبية الباردة يمكن أن يكون مجرد كسر فى

المائة. فى الاستراتوسفير، لا يمثل إلا ٠,٠٠٠٥% (٥ أجزاء فى المليون). ويشكل الأكسجين والنيتروجين وبخار الماء والأرجون ٩٩,٩٥% من الغلاف الجوى. لكن الأنواع الكثيرة التى تشكل ٠,٠٥% المتبقية أو ٥٠٠ جزء فى المليون، تلعب دورًا بالغ الأهمية فى تلوث الغلاف الجوى والمناخ، بما فى ذلك مساهمتها بشكل كبير فى تأثير البيوت الزجاجية. ثانى أكسيد الكربون (*CO2*) الشريك الأكبر فى هذه النسبة المتبقية، حوالى ٣٨٥ جزءا اليوم، وأكبر مساهم بعد بخار الماء فى تأثير البيوت الزجاجية. الميثان (*CH4*)، المساهم الأكبر التالى، يمتص الأشعة تحت الحمراء بقوة تبلغ ٢٠ ضعف قوة امتصاص *CO2* على أساس جزيئى، لكنه لا يوجد فى الغلاف الجوى إلا بمقدار ١,٧٥ جزء فى المليون تقريبًا. تأتى المساهمات الأقل فى البيوت الزجاجية من أكسيد النيتروز (*N2O*)، ويوجد بمقدار ٠,٠٠٣ جزء فى المليون تقريبا؛ والأوزون (*O3*)، ويوجد بتركيز مختلف يتراوح من ٠,٠١ جزء فى المليون بالقرب من الأرض إلى ١٠ أجزاء فى المليون فى الاستراتوسفير.

غازات البيوت الزجاجية التى تحدث بشكل طبيعى، وأهمها بخار الماء وثانى أكسيد الكربون، تدفئ سطح الأرض بهذه الحالة الحالية المناسبة. ومن الواضح أن زيادة تركيز هذه الغازات يمكن أن يجعل الأرض أكثر دفئا. افترض هذه الاحتمالية بعض العلماء منذ أكثر من قرن، افترضها أولا عالم الكيمياء السويدى سفنت أرينيوس فى ١٨٩٦، ومرة أخرى نالت دعما إضافيا من المهندس البريطانى جوى كلندار فى ١٩٣٨. توضح النماذج المقدمة فى الشكل ١-٣ والشكل ١-٤ كيف تعمل بمصطلحات بالغة التبسيط. يوضح الشكل ١-٣ غلافا جويا يشبه امتصاصه للأشعة تحت الحمراء امتصاص الغلاف الجوى للأرض، ويوضح الشكل ١-٤ كوكبا بقدر أكبر

من غازات البيوت الزجاجية فى غلافه الجوى. وكمية غازات البيوت الزجاجية تزداد فى الغلاف الجوى، يتسرب إلى الفضاء قدر أقل من الطاقة المنبعثة من السطح فيصبح السطح أكثر دفئا.

ثمة مثال متطرف وهو كوكب الزهرة. يحتوى الغلاف الجوى لكوكب الزهرة كمية من CO_2 تبلغ ٢٥٠ ألف ضعف تلك التى يحتويها الغلاف الجوى للأرض، وهكذا فهو فعال إلى حد بعيد فى اصطياد فوتونات الأشعة تحت الحمراء. إذا استخدمنا تخطيط الشكل ١-٣ والشكل ١-٤ لتمثيل الغلاف الجوى لكوكب الزهرة، ربما نحتاج حوالى ١٠٠ طبقة، وهكذا يمتص الفوتون وينطلق مرة أخرى إلى أعلى ١٠٠ مرة قبل أن يتسرب من الغلاف الجوى. وبالتالى، ١% فقط من الفوتونات المنبعثة من السطح تتسرب خلال الغلاف الجوى؛ يتم اصطياد ٩٩% الأخرى وامتصاصها فى النهاية بواسطة السطح. يمتص كوكب الزهرة الطاقة الشمسية القادمة إليه بمعدل حوالى ١٨٠ وات/م٢،(١) وهكذا ينبغى أن يطلقها الكوكب مرة أخرى إلى الفضاء بالمعدل نفسه لإحداث التوازن. ولكن لأن ١% فقط من الفوتونات المنبعثة من السطح تتسرب إلى الفضاء، يجب أن تنبعث فوتونات من السطح بمعدل مائة ضعف هذا المعدل، حوالى ١٨٠٠٠ وات/م٢. ويتطلب هذا بدوره أن تكون درجة حرارة السطح ٤٨٠ مئوية- ساخنة بما يكفى لإذابة الرصاص، أسخن حتى من عطارد الذى لا يبعد إلا نصف المسافة عن الشمس مقارنة بالزهرة لكن غلافه الجوى لا يقدم تأثير البيوت الزجاجية.

---

(١) هذه القيمة منخفضة عن القيمة على الأرض. رغم أن كوكب الزهرة أقرب إلى الشمس، إلا أنه مغطى بغطاء سميك من السحب. تعكس نسبة أعلى بكثير (حوالى ٧٠%) من فوتونات الشمس مما تعكسه الأرض. هذا الانعكاس الزائد يقلل الطاقة الممتصة أكثر مما يرفعها قرب المسافة من الشمس. ونتيجة لذلك، تكون الطاقة الممتصة من الشمس أقل فى زحل من تلك الممتصة فى الأرض.

١-٢-٥ التغذية الرجعية وحساسية المناخ:

توضح حتى أبسط النماذج، مثل تلك التى ذكرناها سابقا، أن سطح الأرض يجب أن يدفأ إذا زاد $CO2$ أو الغازات الأخرى التى تمتص الأشعة تحت الحمراء فى الغلاف الجوى. لكن بأى قدر يدفأ؟ ما مدى حساسية درجة حرارة سطح كرة الأرضية ومناخها لزيادة غازات البيوت الزجاجية؟ تتطلب الإجابة على هذا السؤال الكمى حسابات أكثر تعقيدًا من تلك التى ذكرناها سابقـــا، وتجســـد الكثير من العمليات الإضافية التى تجرى فى الغلاف الجوى الحقيقى.

قام العلماء بهذه الحسابات لمائة عام تقريبا، فى البداية باليد والآن لعدة عقود بالكمبيوتر. لتقديم أساس بسيط للمقارنة، وتعبر حسابات كثيرة منها عن نتائجها فيما يتعلق بمدى ارتفاع درجة حرارة الأرض بمضاعفة $CO2$. لقرون عديدة قبل الثورة الصناعية، وجد $CO2$ فى الغلاف الجوى بمعدل ٢٨٠ جزءا فى المليون: بمضاعفة تركيزه يصل إلى ٥٦٠ جزءا فى المليون. حتى إذا حدثت هذه المضاعفة فورًا، لن ترتفع درجة حرارة الأرض فى الحال. يستغرق الأمر قرونًا أو أكثر للوصول إلى توازن جديد فى درجة الحرارة، لأن المحيطات، بسعتها الحرارية الهائلة، تبطئ من ارتفاع درجة الحرارة. وارتفاع درجة الحرارة الناجم فى النهاية عن هذه المضاعفة، بمجرد أن يتحقق توازن جديد، يسمى حساسية المناخ. يمكننا أن نتحدث عن حساسية المناخ لنموذج أو حسبـــة، يمكـــن أن نـــلاحظها بعمـــل نمـــوذج، أو حساسية مناخ الأرض- ويمكن أن نقدرها من خلال نموذج حسابات تذبذب المناخ فى الماضى أو تسجيلاته، ولا يمكن أن نلاحظها مباشرة.

إذا ضوعفت كمية CO_2 ولم يتغير شيء آخر فى نظام المناخ، فسيكون من السهل نسبيا حساب أن الزيادة الناجمة فى درجة الحرارة ستكون درجة واحدة مئوية. لكن فى الواقع، من غير المحتمل أن يتغير تركيز CO_2 وحده. والمناخ يدفأ نتيجة زيادة CO_2، تتغير أشياء أخرى كثيرة. والأهم، مع دفء الغلاف الجوى يحتفظ بكمية أكبر من بخار الماء. وحيث أن بخار الماء أيضا من غازات البيوت الزجاجية، يحدث هذا مزيدًا من التدفئة. مثل هذه التأثيرات غير المباشرة لزيادة CO_2 - تغيرات إضافية نتيجة التغير الأولى- تسمى **تغذية رجعية**، وهى مسئولة عن المزيد من التدفئة الناجمة عن زيادة غازات البيوت الزجاجية. بخار الماء أقوى تغذية رجعية، وهو قادر على مضاعفة التدفئة الناجمة عن CO_2 وحده، لكن الكثير من التغذية الرجعية الأخرى مهمة فى نظام المناخ. يتضمن مثال آخر إذابة الجليد مع تدفئة المناخ، بشكل أساسى فى الأنهار المتجمدة والمحيطات قرب القطبين. الجليد عاكس قوى وما يَكشف من أرض أو ماء حين يذوب الجليد أكثر قتامة. وبالتالى، يزيد نقص الجليد من مقدار الطاقة الشمسية القادمة التى يمتصها سطح الأرض، مما يسبب المزيد من التدفئة.

التغذية الرجعية لبخار الماء والتغذية الرجعية للجليد مثالان من أمثلة **التغذية الرجعية الإيجابية**- تغذية رجعية تزيد التدفئة الأولية. وتوجد أيضا **تغذية رجعية سلبية**، بها تحدث التدفئة الأولية تغيرات تسبب تبريدا. على سبيل المثال، ترتبط درجات حرارة السطح والطبقة العليا من الغلاف الجوى بمزج عمودى من العواصف الرعدية: والسطح يدفأ، تدفأ أيضا الطبقة العليا

من الغلاف الجوى. حيث أن الغلاف الجوى الأكثر دفئا يشع طاقة أكبر فى الفضاء، ويقابل هذا التأثير بعض الدفء الناتج عن زيادة غازات البيوت الزجاجية.

بوضع كل أنواع التغذية الرجعية المعروفة فى الاعتبار، ترى التقديرات الحالية أن مضاعفة CO_2 من ٢٨٠ إلى ٥٦٠ جزءا فى المليون يؤدى إلى تدفئة متوازنة بمقدار ٢-٤,٥ درجة مئوية، وأفضل تقدير ٣ درجات مئوية. بتعبير آخر، تضاعف التغذية الرجعية التدفئة المباشرة الناتجة عن غازات البيوت الزجاجية ثلاثة أضعاف تقريبًا.

١-٢-٦ نماذج المناخ ونماذج الطقس:

كيف تتولد هذه التقديرات الكمية لحساسية المناخ؟ يمكن لحقول علمية أخرى أن تستخدم التجارب المقننة لدراسة سلوك الأشياء التى تهتم بها- على سبيل المثال، الذرات أو السوائل أو البكتريا- لكن علماء المناخ لا يستطيعون القيام بتجارب مقننة على الأرض لملاحظة كيفية استجابتها للتغيرات فى مكونات الغلاف الجوى. بدلا من ذلك يستخدمون **نماذج المناخ العالمى**- تمثيل رياضى للأرض باستخدام الكمبيوتر. تمثل هذه النماذج القوانين الفيزيائية المعروفة التى تحكم سلوك نظام المناخ- مثل الحفاظ على الطاقة، والقوة الدافعة، والكتلة- وأيضا بخر مياه السطح، وتكثف المياه فى الغلاف الجوى لتكوين سحب، والكثير من العمليات الفيزيائية الأخرى المعروفة والتغذية الرجعية. لتقديم تمثيل دقيق للمناخ، ينبغى أن تمثل أيضا نماذج

المناخ العالمى سلوك الأجزاء الأخرى من الأرض، الأجزاء التى تتفاعل مع المناخ، بما فى ذلك المحيطات، وسطح اليابسة، والكريوسفير (السطح الجليدى)، والبيوسفير (النظم البيئية فى العالم).

يأتى التحدى الأكبر لوضع نموذج مناخ عالمى دقيق من المجال الهائل للنطاق الفضائى الذى تحدث بها عمليات الغلاف الجوى- من أنظمة الضغط لآلاف الكيلومترات، إلى سحب من بضعة كيلومترات، إلى دوامات عنيفة من بضعة أمتار، إلى نشاط جزيئى من أجزاء من المليون أو البلايين من المتر. على النماذج أن تقسم الغلاف الجوى إلى خلايا شبكية محدودة الحجم، وهى أصغر وحدات تعرَّف بوضوح خصائص الغلاف الجوى وتحسبها. وتحدد سرعات الحاسبات الحالية أصغر خلايا شبكية فى الغلاف الجوى بنحو ١٠٠ كم أفقيا، مقسمة إلى طبقات رأسية يبلغ سمك كل منها حوالى كم واحد. العمليات التى تجرى على نطاق أصغر من ذلك، مثل السحب لا يمكن تمثيلها صراحة فى النماذج وينبغى بدلا من ذلك أن **توضع فى صورة عوامل متغيرة**. الوضع فى صورة عوامل متغيرة يعنى تمثيل هذه العمليات التى تجرى على نطاق أصغر فى صورة دوال متغيرات يستطيع النموذج حلها بوضوح، مثل درجة الحرارة وبخار الماء. وهكذا بينما لا يمكن لنماذج المناخ العالمى أن تمثل السحب مفردة، وهى أصغر بكثير من خلية شبكية محدودة الحجم، يمكن أن نقدر متوسط السحب فى خلية فى صورة دالة للرطوبة النسبية والرياح فى خلية. الوضع فى صورة عوامل متنوع جدا. لبعضها أسس فيزيائية راسخة، بينما بعضها الآخر بنى خاصة تسمح للنموذج

بإنتاج مناخ حالى واقعى. وبالتالى الوضع فى صورة عوامل متغيرة من أكبر مصادر الشك فى نماذج المناخ العالمى.

يمكن اختبار نماذج المناخ العالمى بمدى قدرتها على استنتاج المناخ الحقيقى للأرض. على سبيل المثال، قد يبدأ نموذج للمناخ العالمى بالأحوال كما كانت منذ بضع مئات من السنين، ثم ينتقل إلى الحاضر لمعرفة قدرته على استنتاج سجل المناخ الملاحَظ. ويمكن أن تشكل الاختبارات الأخرى قدرة نموذج على استنتاج استجابة المناخ الملاحَظ لبعض التشوهات المعروفة مثل انفجار بركانى هائل أو دورة النينو. تجتاز نماذج المناخ العالمى الحالى هذه الاختبارات بشكل جيد. تستنتج المناخ الملاحَظ للقرنين الأخيرين كما تستنتجه بالنسبة للمتوسط العالمى ومناطق القارات الواسعة، لكنها تتفق بشكل أقل مع السجلات التاريخية (ومع كل منها) بالنسبة للمناطق الأصغر. المتغيرات التى ترتكز أساسا على عمليات على نطاق كبير، مثل درجة الحرارة، تُمثَّل بشكل أفضل مما تمثل به المتغيرات التى ترتكز أكثر على نطاق صغير، مثل سقوط الأمطار.

يمكن أن تُستخدَم أيضًا نماذج المناخ العالمى لدراسة المناخ بطرق يستحيل بها دراسة الأرض الحقيقية. يمكنها اختبار سيناريوهات "ماذا يحدث إذا"، مثل ماذا يحدث إذا تغير نتاج الشمس، أو ماذا يحدث إذا لم يعد هناك انبعاث لثانى أكسيد الكربون نتيجة نشاط الإنسان. يمكنها أيضا، كما نناقش فى الفصل الثالث، توقع مدى تغير المناخ استجابة لميول معينة فى المستقبل لانبعاث $CO2$، وغازات البيوت الزجاجية الأخرى.

وتماثل نماذج المناخ العالمى نماذج الغلاف الجوى المستخدمة للتنبؤ بحالة الطقس، لكنها تختلف عنها اختلافات مهمة. يعتمد طقس الغد على طقس اليوم، وهكذا يتطلب استخدام نموذج للتنبؤ بالطقس معلومات مفصلة عن حالة الغلاف الجوى اليوم: درجة الحرارة والضغط والرطوبة وخصائص أخرى كثيرة، محسوبة بدقة وفى مواضع كثيرة قدر المستطاع، على السطح وفى المرتفعات. يأخذ نموذج التنبؤ بالطقس هذه اللقطة للغلاف الجوى ويستخدم الفيزياء المعروفة لتحريكها إلى الأمام زمنيا للتنبؤ بالحالة التى سيتطور عليها الغلاف الجوى عبر الزمن. لكن اللقطة الأولى للغلاف الجوى لا تكون قط دقيقة أو كاملة تمامًا، وحيث إن العلاقات الفيزيائية التى تحدد كيفية تطور الغلاف الجوى ليست خطية، فإن الأخطاء الصغيرة فى الوصف فى البداية تكبر بشكل هائل مع الزمن. فى خلال أسبوع أو اثنين، تسود الأخطاء ويصبح نموذج التنبؤ عديم الأهمية تمامًا.

بوضع هذه المحدودية الجوهرية لقدرة النماذج على التنبؤ بالطقس، كيف يمكن لمشروعات نماذج المناخ لعدة عقود فى المستقبل أن تكون دقيقة؟ تكمن الإجابة فى الاختلافات بين الطقس والمناخ. كما ناقشنا فيما سبق فى القسم ١-٢-١، الطقس حالة الغلاف الجوى فى لحظة معينة، بينما المناخ إحصاءات الطقس فى فترة زمنية. لا تتضمن القدرة المحدودة للتنبؤ بالطقس فى يوم معين قدرة محدودة على التنبؤ بتوزيع الأحوال عبر الزمن- على سبيل المثال، مدى دفء يوم متوسط، ومدى سخونة معظم الأيـــام المتطرفة أو برودتها أو تكرارها- التى تشكل المناخ. هذه كميات مختلفة تفرض مشاكل مختلفة للتنبؤ، والتنبؤ بالمتوسطات والتوزيعات أسهل- بالضبط مثلما من الأسهل التنبؤ بتوزيع النتائج بإلقاء متكرر لقطعة من العملة من التنبؤ

بنتيجة رمية واحدة. عدم القدرة على التنبؤ قصير الأجل بأوضاع معينة لا يتضمن عدم القدرة على التنبؤ طويل المدى بأحوال وتوزيعات متوسطة.

لنتناول مثالا آخر. افترض أننا فى يناير فى "أن أربور"، ميتشجان[١]. هل يمكن أن نتنبأ بأن متوسط درجة الحرارة فى يونيو القادم سيكون أدفأ أو أبرد من المتوسط فى هذا الشهر؟ بالطبع يمكن: نعرف بشكل مؤكد أن يونيو سيكون أدفأ من يناير، حتى إذا لم نستطع التنبؤ بالمناخ فى ١٥ يونيو. يونيو أدفأ لأن النصف الشمالى من الكرة الأرضية، بما فى ذلك أن أربور، يميل ناحية الشمس فى يونيو، وهكذا يستقبل كمية من ضوء الشمس أكبر مما يستقبل فى يناير. مع مزيد من الضوء القادم من الشمس، ينبغى أن يكون الطقس أكثر دفئا نتيجة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة لتوازن الطاقة الواردة.[٢] وبشكل مماثل ترفع الزيادة فى غازات البيوت الزجاجية حرارة السطح بواسطة الغلاف الجوى. ويتطلب هذا بدوره دفء السطح لحدوث توازن الطاقة. وهكذا، لا يتطلب الأمر أن تكون لدينا القدرة على التنبؤ بالطقس فى يوم معين فى ثمانينيات القرن الحادى والعشرين لنعرف أن غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى قد زادت بشكل كبير فى ذلك الوقت، وأن ذلك العقد سيكون أدفأ من هذا العقد.

---

(١) أن أربور: مدينة فى ولاية ميتشجان وهى ولاية أمريكية فى منطقة البحيرات العظمى (المترجم).

(٢) تناولت النماذج البسيطة المذكورة سابقا متوسط التوازن بين الطاقة الواردة والمنبعثة على الأرض كلها، وينبغى أن تكونا متساويتين ليحدث التوازن. يختلف الأمر بالنسبة لموضع معين: لا يتطلب الأمر أن يكون هناك توازن بين الأشعة الواردة والمنبعثة، لأنه يمكن أن يفقد أيضا طاقة بالانتقال الأفقى إلى الأماكن القريبة. ومع ذلك فإن التقييم ليس مهمًا للدورات الموسمية واسعة النطاق التى ناقشناها هنا.

لا يعنى هذا أن التنبؤ بالمناخ سهل. بينما لا يعانى التنبؤ بالمناخ من الشك بشأن الأوضاع الأولية التى تحد من التنبؤ بالطقس، فإنه يعانى من مشاكل أخرى لا يعانى منها التنبؤ بالطقس. على سبيل المثال، على مدى قرن أو يزيد من التنبؤ بالمناخ، ربما يتغير الكثير من مكونات نظام المناخ استجابة لزيادة درجة الحرارة، مثل توزيع طبقات الجليد، ودورة المحيطات، وتوزيع أنواع الأنظمة البيئية على سطح الأرض. يمكن أن يتجاهل التنبؤ بالطقس هذه التغيرات، لأن هذه الأجزاء من نظام المناخ لا تتغير على مدى أسبوع أو اثنين، المدة التى يغطيها التنبؤ بالطقس. لكن ينبغى أن يضع التنبؤ بالمناخ فى الاعتبار المدى الذى يمكن أن تتغير به هذه الأشياء، وتتفاعل مع عناصر أخرى من عناصر المناخ، على مدى عقود أو أكثر. وهذا واحد من شكوك كثيرة فى التنبؤ بالمناخ، نناقشه بتفصيل أكثر فى الفصل الثالث. لكن هذه الشكوك تتعلق بمدى ما سوف يحدث من ارتفاع فى درجات الحرارة، وبكيفية توزيعه حول الأرض، ومسائل أخرى- وليس بما إن كان سيحدث ارتفاع فى درجات الحرارة.

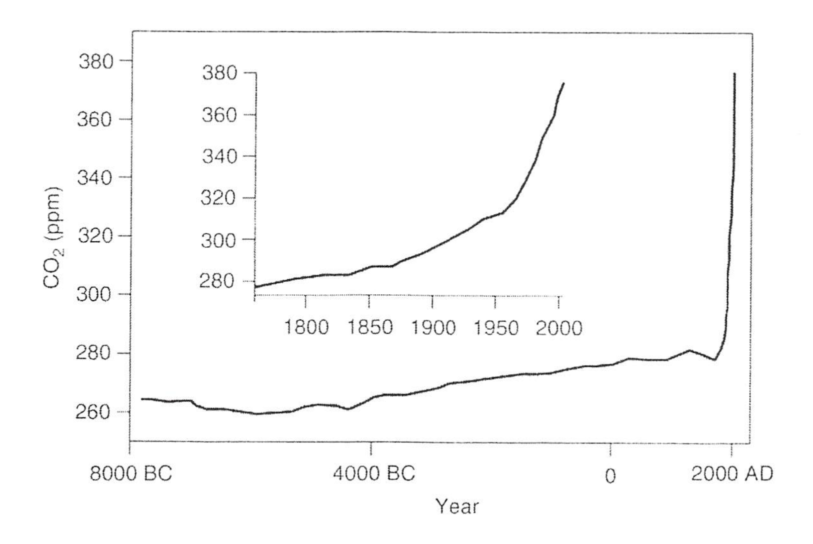
١-٢-٧ الضغط الزائد على المناخ نتيجة نشاط الإنسان:

على مدى القرنين الماضيين، زادت أنشطة الإنسان بحدة من غزارة العديد من غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى. وكانت الزيادة الأكثر أهمية زيادة *CO2*، الذى ينبعث من احتراق مصادر الطاقة من الوقود الحفرى- الفحم والنفط والغاز الطبيعى- ومن اقتلاع الأشجار وقطع الغابات.

هذا الانبعاث لثانى أكسيد الكربون نتيجة نشاط الإنسان يوضع فوق الدورة العالمية الطبيعية للكربون، وفيها يتم تبادل CO_2 باستمرار بين الغلاف الجوى والأنظمة البيئية حيث تستخدم الكائنات CO_2 فى عملية التمثيل الضوئى وتطلقه فى عملية التنفس، وبين الغلاف الجوى والمحيطات عن طريق العمليات الفيزيائية والبيولوجية. يوضح الشكل ١-٥ كيف تنوعت غزارة CO_2 فى الغلاف الجوى على مدى آخر ١٠٠٠٠ سنة. بقيت ٢٦٠-٢٨٠ جزءا فى المليون معظم هذه الفترة، ثم بدأت تزداد بسرعة فى القرن التاسع عشر، مباشرة عقب الزيادة فى استخدام الوقود الحفرى فى الثورة الصناعية. يزيد الآن CO_2 فى الغلاف الجوى عن ٣٨٥ جزءا فى المليون، ويزداد بمعدل جزأين فى المليون تقريبًا كل عام.

الميثان (CH_4)، ويعرف أيضا بالغاز الطبيعى، ثانى أهم غازات البيوت الزجاجية التى تنبعث نتيجة نشاط الإنسان. ينبعث الميثان من حقول الأرز، والمطامر، والمواشى، وحرق الكتل العضوية، ومن استخراج الوقود الحفرى ومعالجته، والعديد من المصادر الطبيعية الأخرى. تبدو السلسلة الزمنية لغزارته فى الغلاف الجوى مماثلة لسلسلة CO_2: قبل سنة ١٨٠٠، كان ثابتًا عند ٠,٨ من الجزء فى المليون؛ بداية من ١٨٠٠ بدأ زيادة سريعة؛ والآن وصل إلى أكثر من الضعف إلى حوالى ١,٧٥ جزء فى المليون. وتشمل زيادة غازات البيوت الزجاجية الأخرى نتيجة نشاط الإنسان أكسيد النيتروز (N_2O)، الذى ينبعث من الأسمدة المعتمدة على النيتروجين ومن العمليات الصناعية إضافة إلى بضعة مصادر طبيعية وازداد من حوالى ٢٥٠ جزءا فى البليون إلى ٣١٥؛ والهلوكربونات، مجموعة من المواد الكيميائية المصنعة ومن أهمها الكلوروفلوروكربونات ($CFCs$)، وتستخدم فى الملطفات والمذيبات، وفى استعمالات صناعية أخرى متنوعة. ليس لهذه المواد الكيميائية مصادر طبيعية، لكنها توجد الآن فى الغلاف الجوى عند حوالى ٣

أجزاء فى البليون. بالإضافة إلى عدة تأثيرات إضافية أصغر للإنسان، التركيز المرتفع لغازات البيوت الزجاجية مسئول الآن عن زيادة الطاقة الواردة إلى سطح الأرض بمقدار ١,٦ وات/م[٢]، مقارنة بالطاقة الواردة من الشمس وتبلغ ٢٤٠ وات.



الشكل ١-٥ متوسط التركيز العالمى لثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى على مدار آخر ١٠٠٠٠ سنة، بالجزء من المليون. يوضح الشكل المقحم آخر ٢٥٠ سنة.

المصدر: *Figure SMP. 1, IPCC (2007a)*

نمت المعرفة بهذه التأثيرات البشرية على المناخ على مدى العقود الأخيرة. بحلول خمسينيات القرن العشرين وبدايات الستينيات صار من الواضح أن استخدام الوقود الحفرى ينتج *CO2* بسرعة تكفى لزيادة غزارته

بشكل دال فى الغلاف الجوى، وقد نشر أول قياس دقيق لهذه الزيادة فى ستينيات القرن العشرين. بينما توقع معظم العلماء ارتفاع حرارة المناخ نتيجة لهذا، وجدت أيضًا أدلة توحى بميل إلى انخفاضها، بما فى ذلك سجلات التذبذب السابق فى المناخ بين العصور الجليدية وفترات الدفء بين العصور الجليدية. استمرت فترة الدفء الحالى حوالى ١٠٠٠٠ سنة، تساوى تقريبا طول فترات الدفء السابق بين العصور الجليدية. وربما يوحى ذلك بأن الأرض عرضة لتبريد تدريجى طويل المدى يؤدى إلى عصر جليدى آخر. إضافة إلى ذلك، شهدت درجات حرارة العالم ميلا ضئيلا للبرودة بين عام ١٩٤٥ وعام ١٩٧٥ تقريبًا، فى الوقت ذاته الذى صار من الواضح أن تلوث الدخان والغبار يمكن أن يحجب سطح الأرض عن ضوء الشمس القادم ومن ثم يضخم أى ميل طبيعى للبرودة. وبحلول ثمانينيات القرن العشرين، مع ذلك، استعادت درجات حرارة العالم ارتفاعها وأوضحت أدلة كثيرة جديدة أن ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت الزجاجية اهتمام سائد.

مع زيادة تركيز غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى، نتوقع ارتفاع حرارة الأرض وتغير المناخ. كما نناقش فى الفصل الثالث، أفضل التوقعات الحالية أن تزايد انبعاث CO_2 وغازات البيوت الزجاجية الأخرى بدرجة ما كما تزايدت، سوف ترتفع حرارة الأرض حوالى ٣ درجات مئوية بحلول نهاية هذا القرن. قد لا يبدو هذا كبيرًا، حيث إنه حتى فى مكان واحد الاختلاف بين يوم صيفى حار ويوم شتوى بارد يمكن أن يصل إلى ٥٠ درجة مئوية ويمكن أن تحدث تغيرات بنصف هذا الارتفاع بين النهار والليل أو بين يوم ويوم. من ثم، يمكن أن تخمن بشكل معقول أن زيادة درجة

حرارة العالم بضع درجات لا يبدو أمرًا ذا بال- لكن قد يكون هذا خطأ خطيرًا. بينما درجة الحرارة فى أى مكان على الأرض يمكن أن تختلف اختلافا هائلا، فإن متوسط درجة الحرارة على الأرض كلها ثابت تمامًا، خلال السنة ومن سنة إلى أخرى. فى ماضى الأرض، ارتبط التغير ببضع درجات فى متوسط درجة حرارة العالم بتغيرات شديدة فى المناخ. على سبيل المثال، فى ذروة العصر الجليدى الأخير منذ ٢٠٠٠٠ سنة- حين كانت طبقة من الجليد سمكها آلاف الأقدام تغطى معظم أجزاء أمريكا الشمالية كان متوسط درجة الحرارة أقل ٥-٨ درجات مئوية عما هى عليه اليوم. هكذا، توقع ارتفاع بمقدار بضع درجات مئوية فى درجة حرارة العالم على مدى ١٠٠ سنة- وأكثر- يجب رؤيته باعتباره أمرا بالغ الخطورة. فى الفصل الثالث نلخص ما تعلمناه منذ ظهر تغير المناخ باعتباره مسألة علمية خطيرة منذ حوالى ٥٠ سنة، بشأن الدليل على أن المناخ يتغير، ونسبة هذه التغيرات إلى نشاط الإنسان، والتغيرات المستقبلية المحتملة، وتأثيراتها.

١-٣ خلفية عن سياسة تغير المناخ:

مثل الكثير من القضايا البيئية المهمة، لفت تغير المناخ العالمى أنظار صانعى السياسة بعد عقود من البحث العلمى فى الموضوع. لم يشد تغير المناخ انتباه الجماهير أو الساسة فى ستينيات القـــرن العشـــرين، ولم يشده إلا قليلا أثناء المناظرات حول سياسة الطاقة فى السبعينيات. بحلول أوائل الثمانينيات، حين تبين بشكل متزايد أن ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت

الزجاجية موضوع خطير، بدأ العلماء والمنظمات العلمية محاولة حث الحكومات على الانتباه إلى مشكلة المناخ. وقد حققوا نجاحا ضئيلا حتى ١٩٨٨، حين دفعت عدة أحداث بتغير المناخ إلى الأجندة السياسية فجأة.

فى ذلك الصيف، عانت أمريكا الشمالية من موجة شديدة من الحرارة وأسوأ جفاف منذ سنوات عاصفة الغبار فى ثلاثينيات القرن العشرين. بحلول شهر يوليو، كان ٤٥% من الولايات المتحدة يعانى من الجفاف وأعلن بضعة علماء بارزين أن من المحتمل أن يكون السبب تغير المناخ. وبالإضافة إلى ذلك، تبع هذا الصيف الشديد فترة من الدعاية المكثفة بشأن ثقب أوزون القطب الجنوبى ومفاوضات اتفاقية مونتريال، المعاهدة الدولية للحد من المواد الكيميائية المستنفدة للأوزون. فى ظل هذه الظروف، بدأ الساسة والعامة الاهتمام باحتمال أن تكون أنشطة الإنسان وراء تشويه المناخ العالمى. فى أواخر ١٩٨٨، بدلا من إعلان اسم "شخصية العام"، حددت مجلة "تايم" "الأرض المهددة" باعتبارها "كوكب العام"، بينما مرر السكرتير العام للأمم المتحدة قرارا ينص على أن المناخ "يهم الجنس البشرى".

تغير المناخ واستنفاد الأوزون

كثيرا ما يخلط الناس بين تغير المناخ العالمى واستنفاد طبقة الأوزون فى الاستراتوسفير، لكنهما مشكلتان مختلفتان. الأوزون جزيء مكون من ثلاث ذرات من الأكسجين، يوجد

بشكل طبيعى فى الاستراتوسفير، على بعد حوالى ١٥-٤٠ كم فوق سطح الأرض. يحمى الأوزون فى الاستراتوسفير الحياة على الأرض بامتصاص معظم الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة الموجودة فى ضوء الشمس. بينما يقع معظم ضوء الشمس فى المجال المرئى، تتميز نسبة مئوية ضئيلة منه بموجات أقصر من ٠,٣ ميكرون، فى الأشعة فوق البنفسجية. لجعل الأمور محيرة أكثر، الأوزون بالقرب من الأرض خطر على الصحة ومكون للهباب، ويزداد نتيجة نشاط الإنسان. لتوضيح الاختلاف بين "الأوزون المفيد" (فوق هناك) و"الأوزون الضار" (تحت هنا)، تذكر فقط أنك تريد الأوزون بينك وبين الشمس، لكنك لا تريد أن تتنفسه.

بداية من سبعينيات القرن العشرين أدرك العلماء أن مجموعة من المواد الكيميائية التى يصنعها الإنسان، بشكل أساسى الكلوروفلوروكربونات، يمكن أن تدمر أوزون الاستراتوسفير. وهذا يجعل أشعة فوق البنفسجية أكثر كثافة تصل إلى السطح، مما يزيد من سرطان الجلد، وإصابة العين بالمياه البيضاء، وأضرار أخرى تصيب صحة الإنسان والأنظمة البيئية. زاد الاهتمام أكثر فى الثمانينيات، حين لوحظ فقد شديد فى الأوزون فوق القطب الجنوبى فى كل ربيع (أكتوبر ونوفمبر)- وسمى بسرعة "ثقب الأوزون"- واعتبرت الكلوروفلوروكربونات السبب.

بعد عشر سنوات من المحاولات التى لم تصادف نجاحا لحل المشكلة، تبنت الأمم إجراءات صارمة فى أواخر الثمانينيات وفى التسعينيات استبعدت تقريبا كل المواد الكيميائية التى تستنفد الأوزون فى الدول الصناعية. وتتخلص الدول النامية تدريجيا الآن من هذه المواد الكيميائية. ونتيجة لذلك، بدأت كمية الكلوروفلوروكربونات فى الغلاف الجوى تنخفض بالفعل، ويتوقع استعادة أوزون الاستراتوسفير تدريجيًا على مدى ٣٠-٥٠ عاما.

يرتبط تغير المناخ واستنفاد الأوزون ببضع طرق. منها أن الكلوروفلوروكربونات تمتص الأشعة تحت الحمراء بقوة، وهكذا تساهم فى تغير المناخ بالإضافة إلى تدمير الأوزون. ثمة رابط آخر وهو أن تغير المناخ يرفع حرارة سطح الأرض والطبقات السفلى من الغلاف الجوى، لكنه يجعل الاستراتوسفير أكثر برودة ورطوبة. والظروف الأكثر برودة ورطوبة تعزز تدمير الأوزون، وهكذا يحتمل أن يؤجل استعادة طبقة الأوزون حتى إذا استمر التوقف التدريجى للمواد الكيميائية المستنفدة للأوزون. لكن رغم الربط، فإن استنفاد الأوزون وتغير المناخ مشكلتان مختلفتان جذريا. لهما أسباب مختلفة: الكلوروفلوروكربونات والمواد الكيميائية الأخرى التى تحتوى على كلور أو بروم مقابل CO_2 وغازات البيوت الزجاجية الأخرى. ولهما تأثيرات مختلفة: تؤذى الأشعة فوق البنفسجية

القوية الصحة والأنظمة البيئية، مقابل تغيرات فى المناخ والطقس على مستوى العالم. رغم أهمية الاختلافات بين هذه المسائل، تقدم أوجه كثيرة لكيفية استجابة الأمم لقضية الأوزون دروسا مفيدة لاستجابتها لتغير المناخ العالمى. سوف نشير إلى الأوجه ذات الصلة من قضية الأوزون فى عدة مواضع فى هذا الكتاب.

كانت أول استجابة للحكومات تأسيس هيئة دولية لتقييم المعرفة العلمية عن تغير المناخ. الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أو *IPCC*. تشمل هذه الهيئة مئات من العلماء مقسمين إلى ثلاث مجموعات عمل، كل منها مسئولة عن وجه مختلف فى قضية المناخ: علم الغلاف الجوى لتغير المناخ؛ التأثيرات المحتملة لتغير المناخ وطرق التكيف مع التغيرات؛ إمكانية خفض انبعاث غازات البيوت الزجاجية التى تساهم فى تغير المناخ. التقارير الأربعة الرئيسية للتقييم، التى أكملتها الهيئة منذ تكوينها، فى ١٩٩٠، ١٩٩٥، ٢٠٠١، ٢٠٠٧، تعتبر على نطاق واسع البيانات الموثوق بها للمعرفة العلمية عن تغير المناخ. وسوف نكرر الإشارة إلى هذه التقييمات فى كل موضع من هذا الكتاب.

وهذه الهيئة الدولية تبدأ عملها فى أواخر ثمانينيات القرن العشرين بدأت الحكومات أيضا الاهتمام بالعمل على الاستجابة لتغير المناخ. على مدى العامين التاليين للصيف الحار فى ١٩٨٨، دعى لمؤتمرات عديدة رفيعة

المستوى لخفض انبعاث $CO2$ على مستوى العالم، بشكل نموذجى من ١٠ إلى ٢٠% فى خطوة أولى. خلال عام ١٩٩١ وعام ١٩٩٢، تفاوض ممثلو الدول حول أول معاهدة دولية عن تغير المناخ، الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ. وقعت هذه المعاهدة فى يونيو ١٩٩٢، ودخلت حيز التنفيذ فى ١٩٩٤ ومنـــذ ذلك الـــوقت وضـــع قانون فى كل الأمم وصدقت عليه أكثر من ١٩٠ دولة من بينها الولايات المتحدة(١).

نصت الاتفاقية الإطارية على أن الهدف "استقرار تركيز غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى عند المستوى الذى يمنع التدخل البشرى الخطير فى نظام المناخ... فى إطار زمنى كافٍ للسماح للأنظمة البيئية بالتكيف بشكل طبيعى مع تغير المناخ، لضمان عدم تهديد إنتاج الطعام، وتمكين التطور الاقتصادى من التقدم بشكل مستمر." وتنص المعاهدة أيضًا على عدة مبادئ تهدف إلى توجيه القرارات التالية الخاصة بسياسة المناخ، ومنها مبدأ يحظى بأهمية خاصة عن "المسئولية المشتركة والمتميزة". وينص هذا المبدأ على أن كل الأمم ملزمة بمواجهة قضية المناخ، لكن ليس بالطريقة نفسها أو فى الوقت ذاته، وبشكل خاص على أن "... ينبغى على أحزاب الدول المتطورة أن تأخذ زمام القيادة فى محاربة تغير المناخ والتأثيرات الضارة الناجمة عنه".

---

(١) بعد أن تفاوض ممثلو الدول حول المعاهدة ووقعوها، دخلت حيز التنفيــذ. أو صــــارت ملزمــــة قانونا. بعد أن أخذ عدد كاف من الدول الخطوة الثانية للتصديق عليها- معبرة بشكل رسمى عن الالتزام بتعهدها. تحدد كل معاهدة عدد الدول التى ينبغى أن تصدق عليها لتدخل حيز التنفيذ. بعد الوفاء بهذا العدد، تصبح المعاهدة ملزمة قانونا، لكن بالنسبة لمن صدقوا عليها فقط.

لم تسع هذه الاتفاقية الإطارية إلى أن تكون الكلمة الأخيرة عن تغير المناخ، بل لتقديم نقطة بداية من أجل تدابير أكثر خصوصية وإلزاما يتم التفاوض بشأنها فيما بعد. وبالتالى، على عكس مبادئها وأهدافها الطموحة، كانت التدابير الملموسة للمعاهدة ضعيفة وتمهيدية. فى ظل هذه الاتفاقية تعهدت الدول بتسجيل انبعاث الغازات الحالية والمتوقعة ودعم أبحاث المناخ. قبلت الأطراف أيضًا التزامًا عامًّا بتبنى تدابير للحد من انبعاث الغازات وتقديم تقارير عنها. لم يتم، مع ذلك، تحديد ما كان على هذه التدابير أن تفعله، أو تحققه. فقط بالنسبة للدول الصناعية (تسمى "دول المرفق الأول") جعلت هذا الالتزام العام يتضمن أيضًا الهدف المحدد لإعادة مستويات انبعاث الغازات إلى المستوى التى كانت عليه سنة ١٩٩٠ بحلول سنة ٢٠٠٠. وكان هذا الهدف الأقرب الذى سعت الاتفاقية إلى تنفيذه بشكل ملموس للارتقاء بأهدافها، لكن حتى هذا الهدف لم يكن ملزمًا قانونًا.

بقدر ما كان هذا الهدف واهيا، بذلت حكومات قليلة جهودًا جادة لتلبيته. حشدت دول كثيرة، بما فيها الولايات المتحدة الأمريكية، برامج قومية لم تكن أكثر من نصائح للعمل التطوعى وإعادة صياغة البرامج الموجودة. الدول القليلة التى حققت الهدف فعلت ذلك إلى حد بعيد بمصادفة تاريخية أو من خلال سياسات تبنتها لأسباب أخرى. روسيا، على سبيل المثال، حققت الهدف نتيجة انهيار الاقتصاد السوفيتى بعد ١٩٩٠، وألمانيا لأنها استوعبت الاقتصاد الألمانى الشرقى المنكمش، وبريطانيا لأنها خصخصت توليد الكهرباء وأوقفت إنتاج الفحم. وتبين فورا بعد تبنى هذه المعاهدة أن القيام بخفض مهم فى انبعاث الغازات يتطلب تدابير أقوى. بعد بضع سنوات من مناظرة على

نطاق واسع بشأن الشكل الذى يمكن أن تكون عليه هذه التدابير الأقوى، تم تبنى خطة فى ١٩٩٥ للتفاوض بشأن التزام الدول بحدود انبعاث غازات البيوت الزجاجية بالنسبة لدول المرفق الأول (الصناعية). فى ديسمبر ١٩٩٧، انتهت هذه المفاوضات بتوقيع اتفاقية كيوتو[١].

تميزت مفاوضات اتفاقية كيوتو بمساومة صعبة لآخر دقيقة حول الحدود القومية للانبعاث. سعت وفود أوروبا واليابان إلى تخفيضات طموحة للانبعاث بنسبة ٥-١٥% تحت مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠١٠. عارضت إدارة كلينتون فى البداية التخفيضات الوشيكة للانبعاث، وطرحت بدلا من ذلك الأبحاث والمبادرات التطوعية فى السنوات الأولى، مع عدم دخول أهداف خفض الانبعاث حيز التنفيذ إلا بعد ٢٠٠٨. اتخذ مجلس الشيوخ الأمريكى خطوة غير معتادة بالتعبير عن عدائه لأهداف الانبعاث حتى قبل اكتمال مفاوضات المعاهدة، ممرِّرا قرارًا ("قرار بارد-هاجل ***Byrd-Hagel***") رفض تحديد الانبعاث بالنسبة للدول الصناعية إذا لم تتعهد الدول النامية بتخفيض الانبعاث فى الوقت ذاته.

تم التوصل إلى الاتفاق فى الساعات الأخيرة من مؤتمر كيوتو فارضا أهدافا معينة للانبعاث بالنسبة لكل بلد صناعى على مدى "فترة تعهد" لمدة خمس سنوات من ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٢. حُدِّدت الأهداف بالنسبة للانبعاث الكلى

---

(١) كل من "الاتفاقيات" و"البروتوكولات" معاهدات. الاتفاقية، نموذجيا، اتفاق عام يقدم إطارا لاتفاقات أكثر خصوصية يتم التفاوض حولها فى بروتوكولات فى ظل الاتفاقية. فى هذه الحالة، تفاوضت أطراف هذه الاتفاقية الإطارية حول بروتوكول كيوتو لتطوير الأهداف والمبادئ الموجودة فى الاتفاقية الإطارية.

لسلة من $CO2$، وخمس غازات أخرى من غازات البيوت الزجاجية. ومع أن المعاهدة لم تشمل أى تحديد للانبعاث بالنسبة للدول النامية، وقع عليها وفد الولايات المتحدة، فى خروج على قرار مجلس الشيوخ. كانت أهداف الانبعاث ٨% تحت مستويات ١٩٩٠ بالنسبة للاتحاد الأوروبى وبضع دول أوروبية أخرى؛ ٧% بالنسبة للولايات المتحدة؛ ٦% بالنسبة لليابان وكندا؛ وصفر (أى الإبقاء على مستوى الانبعاث بالمستوى الذى كان عليه فى ١٩٩٠) بالنسبة لروسيا وأوكرانيا[١]. إذا حققت كل الدول أهدافها، سيكون الانبعــاث مــن هــذه الدول أقل بمعدل ٥,٢% أثناء فترة التعهد من مستويات ١٩٩٠.

ضم البروتوكول أيضا العديد من البنود المصاغة على عجل للسماح بالمرونة فى كيفية تحقيق الشعوب للحد من الانبعاث. وتشمل آليات لتبادل الالتزام بخفض الانبعاث بين الدول (السماح لدولة بتخفيض أقل بالدفع لدولة أخرى لتقوم بتخفيض أكبر). وضم أيضا بنودا للدول لتحقيق بعض التزاماتها بتشجيع التخلص من الكربون بزرع الأشجار أو بتدابير مماثلة، بدلا من تخفيض الانبعاث من استخدام الطاقة أو من الصناعة. ومع ذلك تركت تفاصيل هذه البنود، بالإضافة إلى مسائل أخرى كثيرة تتعلق بتنفيذ الاتفاقية، للبت فيها فيما بعد.

---

(١) فاوضت بضع دول صغيرة من أجل تعيدات متميزة بشكل خاص: كان هدف زيلاند، مثــل هدف روسيا، الحفاظ على الانبعاث عند مستوياته الأساسية؛ وسمح للنرويج بزيادة ١% عــن مستواها الأساسى؛ واستراليا بزيادة ٨%؛ وأيسلندا بزيادة ١٠%.

سعت مفاوضات أخرى على مدى ثلاث سنوات بعد توقيع الاتفاقية إلى وضع قواعد أكثر تحديدا لتنفيذ التزامات الانبعاث، وخاصة فيما يتعلق بمقدار الدين الذى يمكن للأمم أن تطالب به لتشجيع التخلص من الكربون وتمويل تخفيض الانبعاث خارج حدودها فى ظل آليات مرنة. كشفت هذه المفاوضات عن اختلافات حادة بين مجموعتين من الدول الصناعية بشأن مدى المرونة التى ينبغى منحها. سعت إحدى المجموعتين، وتشمل الولايات المتحدة وروسيا واليابان وكندا وعدة دول أخرى، إلى مزيد من الحرية فى تشجيع التخلص من الكربون بواسطة الغابات أو تخفيضات أخرى، ومزيد من المرونة لإحلال الخفض خارج الحدود مكان الخفض داخل البلاد، بينما رغبت معظم الدول الأوروبية بالسماح بقدر أقل من المرونة فيما يتعلق بهاتين النقطتين.

احتدم هذا الصراع وتوقفت المفاوضات بين المجموعتين فى مؤتمر فى نوفمبر ٢٠٠٠ فى "ذا هوج"[١]. هنا، رغم التحولات السياسية باتجاه خط أكثر تشدُدًا فى أوروبا والتشكك البادى فى انتخابات الرئاسة الأمريكية غير المحسومة، كادت الوفود تصل إلى تسوية. لكن التسوية المقترحة رفضها فى الدقيقة الأخيرة وزيرا البيئة فى فرنسا وألمانيا (والاثنان أعضاء فى حزب الخضر)، اللذان رأيا أن الإضعاف المقترح لتعهدات كيوتو باهظ بدرجة لا تسمح بدفعه ثمنًا لمشاركة الولايات المتحدة. ربما وضع انهيار المفاوضات على عاتق هذا الصراع، وبدا أن هناك اختلافات أخرى عديدة، بين الدول

(١) ذا هوج *The Hague*: العاصمة الفعلية لنيوزيلندا (المترجم).

الصناعية والدول النامية، وبين الدول النامية، كان يمكن أيضا أن تعرقل الاتفاق إذا طرحت على قمة جدول الأعمال.

بينما كانت إدارة كلينتون مرتبكة نتيجة التناقض فى مقاربة قضية المناخ عمومًا واتفاقية كيوتو خاصةً، كان موقف إدارة بوش معاديًا بوضوح. بعد شهرين من تولى الإدارة الجديدة مقاليد الأمور فى ٢٠٠١ أعلنت أنها لن تصدق على الاتفاقية، لوجود قدر كبير جدا من الشك العلمى بشأن تغير المناخ ولأن الحدود التى وضعتها الاتفاقية للانبعاث قد تضر بالاقتصاد الأمريكى. ورغم تراجع إدارة بوش فيما بعد عن ادعاء أن انسحابها نتيجة الشكوك العلمية، فقد واصلت التمسك بعدم قبول الاتفاقية، بسبب التكلفة الباهظة على الاقتصاد الأمريكى وعدم تحديد الانبعاث بالنسبة للدول النامية. فى فبراير ٢٠٠٢، أعلن الرئيس بوش مقاربته البديلة للقضية، وتشمل عدة مكونات: هدف خفض "كثافة غازات البيوت الزجاجية" للاقتصاد الأمريكى- الانبعاث لكل دولار من الناتج القومى الإجمالى- ١٨% بحلول عام ٢٠١٢؛(١) زيادة المخصصات لعلم تغير المناخ ولتقنيات معينة لخفض الانبعاث؛ حوافز ضريبية للطاقة المتجددة والمركبات عالية الكفاءة، والعديد من البرامج لتشجيع رجال الأعمال على الخفض التطوعى للانبعاث.

---

(١) لاحظ أن الهدف قيس بالانبعاث نسبة إلى حجم الاقتصاد الأمريكى، وليس الانبعاث ذاته. ينمو مستوى الانبعاث المسموح به فى ظل هذا الهدف مع نمو الاقتصاد. وهكذا إذا نما الاقتصاد بما يزيد عن ١٨%، فسوف يزيد الانبعاث الكلى فى ظل هذا الهدف. أكثر من ذلك، المعدل المنشود للتحسين ليس طموحا خاصا حيث إنه تقريبا يساوى الخفض فى كثافة غازات البيوت الزجاجية الذى تحقق فى تسعينيات القرن العشرين.

بعد إعلان انسحاب الولايات المتحدة، واصل الموقعون الآخرون التفاوض بشأن الآليات المرنة وبنود الالتزام، وتوصلوا إلى تفاهم فى نوفمبر ٢٠٠١، يشبه ما رفض فى ٢٠٠٠. سمحت هذه الاتفاقات بمرونة أكبر مما كان المندوبون الأوروبيون يرغبون فى قبوله من قبل، وتلى ذلك بيانات بأن الاتحاد الأوروبى واليابان، وكندا بعد ذلك، سيصدقون على الاتفاقية.

وبقيت القوة القانونية للاتفاقية غير مؤكدة حتى أواخر ٢٠٠٤. حتى تدخل حيز التنفيذ- ومن ثم تصبح ملزمة للدول التى صادقت عليها، تتطلب الاتفاقية تصديق ٥٥ دولة، من بينها الدول التى تساهم على الأقل بنسبة ٥٥% من الانبعاث الصادر عن الدول الصناعية سنة ١٩٩٠. وتعنى هذه العتبة أن المعاهدة، من دون الولايات المتحدة، لا يمكن أن تدخل حيز التنفيذ إلا إذا انضمت إليها كل الدول الصناعية الكبرى، بما فيها روسيا. بعد عدة سنوات من الشك حول نوايا روسيا، صدقت عليها فى نوفمبر ٢٠٠٤، مما سمح بدخول الاتفاقية حيز التنفيذ فى ١٦ فبراير ٢٠٠٥.

لكن التأخير فترة طويلة فى انتظار التوقيع كان يعنى أن الاتفاقية لن تدخل حيز التنفيذ إلا قبل بداية فترة التعهد بثلاث سنوات. وكانت جهود الدول أثناء ذلك غير منتظمة إلى حد بعيد، وكان الكثير منها غير مستعد لتحقيق ما يمكن أن يكون انحرافا كبيرًا فى الانبعاث على مدى سنوات قليلة جدا. ونتيجة لذلك، كانت الميول القومية بشأن الانبعاث غير منتظمة إلى حد بعيد وكان من المحتمل أن تنفذ دول قليلة تعهداتها.

كانت أوضاع روسيا وأوكرانيا الأسهل فى الاستجابة، لأن انهيار الاقتصاد السوفيتى فى أوائل التسعينيات نزل بمستويات الانبعاث إلى

مستويات أقل بكثير من المستهدف. التى استقرت عند خط الأساس لسنة ١٩٩٠. فى ٢٠٠٦، كان مستوى الانبعاث فى روسيا أقل ٣٦% من المستهدف وفى أوكرانيا ٥٢%، مما سمح لهما ببيع أرصدة للدول الأخرى فى ظل آليات المرونة التى أقرتها الاتفاقية.

وقام الاتحاد الأوروبى بأكثر الجهود جدية لخفض الانبعاث. طبقا للاتفاقية، على الاتحاد الأوروبى خفض الانبعاث ٨%، لكنها تسمح له بتحقيق الهدف مجتمعة، وهكذا يمكن لتخفيض أكبر فى بعض الدول الأعضاء أن يقابله تخفيض أقل أو زيادة الانبعاث فى دول أخرى. ومع ذلك، التزم الاتحاد الأوروبى بأهداف أكثر صرامة بكثير- ٢٠% تحت مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠٢٠، ليلتزم بتخفيض ٣٠% إذا وافقت الدول الصناعية الأخرى على بذل جهود مماثلة. لتحقيق هذا التخفيض، حقق الاتحاد الأوروبى نظام انبعاث قابل للتبادل يسمح بتغطية محطات الكهرباء ومعظم المصادر الصناعية الكبرى (حوالى نصف مجموع الانبعاث)، بالإضافة إلى نُظُم لتغطية البنايات والمركبات والأدوات والأجهزة الأخرى، والوقود الحيوى. رغم هذه الجهود، انخفض الانبعاث فى الاتحاد الأوروبى سنة ٢٠٠٦ ٢,٧% فقط عن مستويات ١٩٩٠، مع تدابير إضافية أكثر تفاؤلا للوصول بها إلى ٧% تحت المستوى الأساسى بحلول ٢٠١٠. يبقى من الممكن تنفيذ الالتزام الأوروبى الرسمى بتخفيض ٨% طبقًا لاتفاقية كيوتو، لكن فقط تمويل كبير للتخفيضات الأجنبية فى ظل الآليات المرنة التى أقرتها اتفاقية كيوتو.

ضمن الدول الصناعية الأخرى الكبرى، الولايات المتحدة غير مضطرة لتنفيذ تخفيض بنسبة ٧% طبقا لاتفاقية كيوتو لأنها لم تصدق عليها.

كان الانبعاث فى الولايات المتحدة أعلى من المستوى الأساسى بنسبة ١٦% فى ٢٠٠٧. بذلت اليابان وكندا جهودًا أقل جدية بكثير من جهود الاتحاد الأوروبى، وحققتا إنجازات أقل. كان مستوى الانبعاث فى اليابان أعلى ٩% من المستوى الأساسى، وقد وضعت كثيرًا من التدابير الضئيلة فى خطة المناخ، بشكل متفائل، للتخفيض بنسبة ضئيلة فقط، ومن ثم من غير المحتمل أن تحقق المستهدف لها من خفض ٦% حتى لو خصصت تمويلا كبيرًا للتخفيضات الأجنبية. وربما كان وضع كندا أسوأ، ولم تصدق على الاتفاقية إلا فى ديسمبر ٢٠٠٢ وقد اعتزمت وضع عدة خطط مختلفة للمناخ، كلها ضعيفة ولم تُنفَّذ أى منها بالكامل. مع ارتفاع الانبعاث فى كندا بنسبة ٢٦% عن المعدل الأساسى، ليست هناك فرصة لتحقيق الهدف، برغم الالتزام القانونى طبقا للاتفاقية. ربما أستراليا هى الطرف الذى يمثل الوضع الأسهل. فى البداية عارضت أستراليا الاتفاقية، مثل الولايات المتحدة، ثم غيرت رأيها وصدقت عليه بعد تغيير الحكومة فى ٢٠٠٧. لكن مع أحد أكثر أهداف كيوتو تساهلا (٨% **زيادة** عن المعدل الأساسى) ونمو الانبعاث بمعدل ٧% فقط من ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٦، تتمتع أستراليا بفرصة عادلة لتحقيق هدفها رغم البداية المتأخرة. عمومًا، كان الانبعاث سنة ٢٠٠٧ من الدول التى وقعت على كيوتو ١٤% أقل من المعدل الأساسى فى سنة ١٩٩٠، لكن هذا النقص الكبير كان فى الأساس نتيجة انهيار الاقتصاد الروسى، والانبعاث الصادر عنه، فى أوائل تسعينيات القرن العشرين. معظم الموقعين على اتفاقية كيوتو لأهداف تتعلق بالانبعاث لن يحققوا أهدافهم، ولن تحققها إلى حد بعيد عدة اقتصاديات رئيسية.

مع تبدى الفشل، وافقت الأطراف التى اجتمعت فى بالى سنة ٢٠٠٧ على التفاوض بشأن معاهدة جديدة حول المناخ خلال سنتين، لتتضمن فعاليات الدول الصناعية والنامية. مع ذلك، عادت المفاوضات التالية بسرعة إلى خطوط الصراع القديم، وهكذا بحلول بدايات ٢٠٠٩ تقلص الهدف إلى التفاوض بشأن تعهد سياسى آخر، على أن تتبعه المعاهدة فيما بعد. ومع اقتراب مؤتمر كوبنهاجن فى ديسمبر ٢٠٠٩، ارتفعت الآمال بتجدد انضمام الولايات المتحدة فى ظل إدارة أوباما، بالإضافة إلى تصريحات قومية كثيرة عن زيادة التعهدات. وتميز المؤتمر، مع ذلك، بمناقشات حادة عن المشاركة فى أعباء العمل والكثير من العقبات الإجرائية. ولم يتم تجنب الفشل إلا فى المفاوضات المكثفة فى الدقيقة الأخيرة فى صفقة سياسية عقدها قادة ٢٨ دولة، بما فيها الدول التى يصدر منها انبعاث هائل وممثلى المجموعات الإقليمية. تضمنت "اتفاقية كوبنهاجن" عدة تطورات مهمة على أى اتفاق سابق- عن هدف الحد من تغير المناخ إلى درجتين مئويتين، وعن خفض الانبعاث لتحقيق ذلك، عن التحقق من الفعاليات القومية، وعن الدعم المالى للدول النامية- لكنها كانت مبهمة أو ضعيفة فى نقاط محورية. بالإضافة إلى ذلك، أعاقت الاعتراضات من خمس دول التبنى الرسمى للاتفاقية، وهكذا فإن وضعها حتى أساسا لمفاوضات مستقبلية غير مؤكدة. باختصار، برغم مؤشرات جيدة متواضعة قبل الذهاب إلى كوبنهاجن وفيها، والانتباه الكبير الحالى لتغير المناخ، يبقى من غير الواضح إن كان قادة الدول الكبرى يرغبون فى العمل بقوة كافية لمواجهة المشكلة، أو إن كانت عملية التفاوض الدولى قادرة على تشجيع هذا العمل وتنسيقه.

خطة الكتاب

نسعى فى بقية الكتاب إلى تقديم دليل واضح للمناظرة الحالية حول تغير المناخ. تلخص الحالة الحالية للمعرفة العلمية حول تغير المناخ، والخيارات السياسية المتاحة للاستجابة له، والمناظرة السياسية عما ينبغى القيام به، وكيف تتفاعل هذه المناطق الثلاث المعنية بالمعرفة والمناظرة- العلم والسياسة والسياسى.

خطة الكتاب كما يلى: يناقش الفصل الثانى الخصائص العامة للمناظرة العلمية والمناظرة السياسية، والاختلاف بينهما، والتحدى المتوقع الذى يظهر حين تقع مسائل مهمة على الحدود بين هاتين المنطقتين غير المتماثلتين المتعلقتين بالمناظرة وصناعة القرار. ويلخص الفصل الثالث المعرفة العلمية الحالية وعدم اليقين بشأن تغير المناخ العالمى، مركزا على النقاط التى أصبحت المسائل الأكثر أهمية فى الجدل العام. ويلخص الفصل الرابع المعرفة الحالية عن التكنولوجيا المحتملة والاستجابات السياسية لقضية المناخ. أخيرا، يتناول الفصل الخامس شيئين. الأول، يضع خطوطاً عامة للمناظرة السياسية الحالية عن تغير المناخ وأسس الورطة الحالية فى القضية. الثانى، يرسم أحكامنا الخاصة لوضع مجموعة من التوصيات عما ينبغى القيام به للاستجابة بشكل مناسب للتهديد الخطير الذى يفرضه تغير المناخ العالمى.

قراءة إضافية بالنسبة للفصل الأول:

David Archer (2007), Global Warming: Understanding the Forecast. Malden, MA: Blackwell Publishing.

K. Emanuel (2007): What We Know About Climate Change, MA: MIT Press.

يصف هذان الكتابان القصيران نسبيا العلم الأساسي لارتفاع درجة حرارة العالم. وقد كتبا لمن ليست لديهم خلفية علمية عميقة.

الفصل الثانى

العلم والسياسة والعلم فى السياسة

مناظرة تغير المناخ، مثل كل المناظرات السياسية، هى بالأساس جدل حول الفعل. كيف نستجيب لتغير المناخ؟ هل الأخطار التى يفرضها تستدعى فعلا، وإذا كانت تستدعى، فأى جهد- وأموال- نبذلها وعلى أى نوع من الفعل؟ استمع إلى المناظرة وستسمع الكثير من أنواع الجدل المختلف- عما إن كان المناخ يتغير وكيف، وإن كانت أنشطة الإنسان مسئولة، ومدى ما يحدث وما إن كان يمكن أن يعتبر طبيعيًا، وكيف يمكن أن يتغير المناخ فى المستقبل، وما التأثيرات المحتملة للتغيرات وما إن كانت تستدعى الاهتمام، وملاءمة الاستجابات المختلفة ومزاياها وعيوبها. ورغم تميز هذه المناقشات، فهى حين تقدم فى المناظرة السياسية تستخدم كلها لصناعة حالة لما ينبغى علينا القيام به ولما لا ينبغى. تهدف إلى إقناع الآخرين بدعم مسار معين للعمل.

يضع الفصل الأساس لفهم هذه المناقشات. يوضح القسم التالى الاختلافات بين نوعى المقولات المقدمة فى المناظرات السياسية، المقولة الإيجابية والمعيارية. ثم يناقش القسم ٢-٢ والقسم ٢-٣ كيف يفحص العلم

المقولات الإيجابية ويختبرها، وكيف يستخدم المشاركون فى المناظرات السياسية كلا من المقولة الإيجابية والمقولة المعيارية لبناء مجالات مع السياقات المفترضة للفعل وضدها. يفحص القسم ٢-٤ ما يحدث حين تتقاطع المناظرة العلمية والسياسية، كما هو الحال فيما يتعلق بتغير المناخ. أخيرا، يناقش القسم ٢-٥ دور التقييم العلمى فى معالجة الحدود بين المناظرة العلمية والسياسية. وتناقش الفصول التالية المقولات الخاصة التى يطرحها الناس بشأن العلم والسياسة فيما يتعلق بتغير المناخ، ووضع المعرفة الحالية فيما يتعلق بهذه المقولات.

٢-١ مبررات الفعل: التصريحات الإيجابية والمعيارية:

عن تغير المناخ، كما هو الحال بالنسبة لأية قضية يختلف الناس عما يفعلونه بشأنها، ترتكز المناقشات المقدمة لدعم الفعل المفترض أو معارضته على نوعين مختلفين اختلافا جوهريا من التصريحات المؤيدة: تصريحات بشأن ما نعرفه، أو **المقولات الإيجابية**، وتصريحات بشأن ما نقيمه وما ينبغى أن نقيمه، أو **المقولات المعيارية**.

تهتم المقولة الإيجابية بحالة الأشياء تقول: إن شيئا حقيقيا عن العالم. وقد تتناول أمرا ما ("إنها تمطر")، أو ميلا عبر الزمن ("تصبح فصول الشتاء أكثر دفئا")، أو علاقة سببية تفسر سبب حدوث شيء ما ("التدخين يسبب السرطان"). التصريحات الإيجابية ليست بالضرورة بسيطة أو يمكن التحقق منها بسهولة. وربما تتعلق بشئون الإنسان ويمكن أيضا أن تتعلق بالعالم

الفيزيائى الحيوى. "ساهمت سياسة الولايات المتحدة أثناء الحرب الباردة بشكل حاسم فى انهيار الاتحاد السوفيتى" تصريح إيجابى أيضًا، لكنه تصريح يصعب التحقق منه بثقة. الأساسى فى المقولات الإيجابية أنها تتعلق بحالة الأشيـــاء لا بما ينبغى أن تكون عليه. كل المقولات العلمية وكل الأسئلة العلمية إيجابية.

تتعلق المقولة المعيارية بالتقييم: لا تتعلق بحالة الأشياء، بل بما ينبغى أن تكون عليه. تعلن (أن شيئًا حســـن أو سيئ، صحيح أو خطـــأ، مرغوب أو غير مرغوب، عادل) أو غير عادل، الخ. يمكن أن تشمل أمثلة التصريحات المعيارية، "ينبغى عليه أن يبقى ليساعدها"، "القتل خطأ"، "عدم المساواة فى توزيع ثروة العالم ظلم"، "إننا ملزمون بحماية الأرض"، "التدابير البيئية انتهاك غير مقبول لحقوق الملكية والحريات الفردية." باستثناءات قليلة، التصريحات أو الأسئلة التى تتضمن كلمات "ينبغى" أو "يجب" معيارية. وتشمل الاستثناءات غالبًا استخدامًا مائعا للغة. إذا قال شخص: "ينبغى أن يفوز الأمريكان بورلد سيرز"[1]، يحتمل أن يعنى أن **من المرجح** أن يفوزوا بها (مقولة إيجابية)، ولا يعنى أن من الصواب أو العدل أو الصحيح أنهم يفوزون (مقولة معيارية). بالطبع، ربما يعنى الاثنين، مقدما مثالا للطريقة التى نجمع بها أحيانا التصريحات الإيجابية والمعيارية- ونخلط بينها.

---

(١) ورلد سيرز World Series: بطولة فى البيسبول تلعب بين الاتحاد الأمريكى American League والاتحاد القومى National League منذ ١٩٠٣ (المترجم).

توجد عدة اختلافات مهمة بين المقولات أو الأسئلة الإيجابية والمعيارية. أولا، إذا طرح سؤال إيجابى بشكل جيد تماما– بمعنى أن تُحدَّد كل أطرافه بوضوح ودقة كافية– تكون له إجابات صواب وخطأ. بالمثل، المقولة الإيجابية المطروحة بشكل جيد تكون صحيحة أو زائفة. ثانيا، لا تعتمد إجابة السؤال الإيجابى، أو صحة المقولة الإيجابية أو زيفها، على من أنت، ما تحب أو تقدّر، أو ثقافتك، أو أيديولوجيتك السياسية، أو معتقداتك الدينية. أخيرا، يمكن غالبًا حل المناقشات حول المقولات الإيجابية بالنظر إلى دليل. إذا اختلفنا أنا وأنت عما إن كانت فصول الشتاء تصبح أكثر دفئا، يمكن أن ننظر فى سجلات درجات حرارة الشتاء فى الماضى والحاضر. وإذا اختلفنا عما إن كان التدخين يسبب السرطان، يمكن أن ننظر فى سجلات صحة مجموعة كبيرة من المدخنين وغير المدخنين (يتماثلون فى كل شيء إلا التدخين)، ونلاحظ إن كان المدخنون يصابون أكثر بالسرطان.

لكن لاحظ الكلمة المراوغة "غالبا" التى تقيد تصريحنا السابق عن أن الخلافات الإيجابية يمكن أن تُحل بالنظر إلى دليل. النظر إلى دليل لا يمكن أن يحل دائمًا الاختلافات الإيجابية لسببين، سبب فلسفى وسبب عملى. فلسفيا، لا يوجد أساس صلب لحل جازم حتى بالنسبة للأسئلة الإيجابية، لأننا، أنا وأنت، قد نختلف على ما يعنيه الدليل. وربما نختلف على صلاحية الطرق المستخدمة لمقارنة درجات حرارة الشتاء فى مناطق مختلفة أو عبر الزمن. ربما نختلف أيضًا عما إن كان ما يحدث الآن فى الخارج يعتبر "مطرًا". (هل الرذاذ الخفيف يعتبر مطرًا؟ ماذا عن الضباب الكثيف؟) إذا استمر الاختلاف حول هذه المسائل المتعلقة بالدليل، لا يمكن لأى منا أن يفوز فى الجدل

بحسم. أفضل ما أقوم به هو اللجوء إلى مناقشات ثانية، مثل ما المعقول الذى يمكن تصديقه؟ أو فى أى حكم نثق؟ وهو ما قد ترفضه أيضا.

الثانى، الحدود العملية وتتمثل فى أن الدليل المطلوب لحل الاختلاف قد يكون غير متوفر حاليًا، أو حتى لا يمكن التوصل إليه من حيث المبدأ. لا يمكن أن نعرف إن كانت فصول الشتاء تصبح أكثر دفئا إلا إذا كانت لدينا سجلات درجات الحرارة عن المنطقة والفترة الزمنية التى نتساءل بشأنها. لكن مع أن هذه الحدود حقيقية، لكننا لا ننفى التعميم الواسع: يقدم النظر إلى دليل طريقة قوية فعالة غالبًا لحل الاختلافات حول المقولات الإيجابية.

وليس هذا هو الحال بالنسبة للمقولات المعيارية. لأن المسائل المعيارية تشمل دائما أحكامًا على قيمة، فإن الأساس للاعتقاد بأن لها إجابات صوابا وخطأ أضعف بكثير مما عليه الحال بالنسبة للمسائل الإيجابية. يتطلب الأمر أن تؤسس مقولات معيارية معينة على مجموعة أساسية من المبادئ التى تحدد القيم المناسبة. وهذه قد تكون مجموعة من المعتقدات الدينية، أو فلسفة خلقية، أو أيديولوجيا سياسية، أو مجموعة من المعايير الثقافية، وربما تشير ببساطة إلى ما يفضله الناس أو يهتمون به (ما يريده الناس، أو ما يُعتبَر جيدا بالنسبة لهم). لكن لأن الناس يختلفون اختلافات عميقة بشأن هذه المبادئ الأساسية، يمكن أن تختلف الإجابة على سؤال معيارى اختلافًا كبيرا من شخص لشخص. حتى مقولة مثل "القتل خطأ"، وقد تبدو صحيحة بشكل واضح للوهلة الأولى، تولد بسرعة اختلافات حين تتأمل حالات صعبة من قبيل قتل من يعانون من أمراض ميئوس منها، أو عقوبة الإعدام، أو الحرب. بالإضافة إلى ذلك، النظر إلى دليل لا يساعد على حل الاختلافات

فى المسائل المعيارية الصرفة. المسائل المعيارية بالتالى مثيرة بشكل أكثر عمقا من المسائل الإيجابية، وأقل قابلية لحل متفق عليه بشكل متبادل.

تعتمد المناظرات السياسية، والمناقشات حول سياق معين للفعل بشكل يكاد يكون دائما على كل من المقولات الإيجابية والمعيارية. ويرجع هذا إلى أن معظم الاختيارات السياسية تتم لأسباب إجرائية: نؤيد القيام بشيء ما لأننا نعتقد أن من المحتمل أن تكون نتائجه طيبة. المناقشات حول الأفعال ("هل نرفع الضريبة على السجائر؟") تعتمد جزئيًا على المقولات الإيجابية عن النتائج المترتبة عليها ("إذا رفعنا الضريبة، إلى أى حد يقل التدخين؟"، "ما الفوائد الصحية التى يحققها هذا التخفيض فى التدخين؟"، "ما مقدار السجائر التى يتم تهريبها؟"). وتعتمد أيضا على المناقشات المعيارية عن مدى جودة هذه النتائج أو سوئها ("هل من العدل زيادة دخل الضرائب من الفقراء؟"، "هل يجدر بنا قبول الزيادة المتوقعة فى الجريمة لتحقيق الفوائد الصحية المتوقعة؟")؛ وأيضا على المناقشات المعيارية بشأن قبول الفعل نفسه ("هل محاولة جعل الناس يقللون من القيام بسلوك غير صحى المهمة الحقيقية للحكومة؟"). وبشكل مماثل، يرى من يؤيدون عقوبة الإعدام أنها تثنى عن اقتراف جرائم شنيعة (إيجابى)، وأن تطبيقها لا يعتمد على التعصب العرقى (إيجابى)، وأن الحذر الإجرائى يمكن أن يقلل خطر تنفيذ الحكم فى شخص بريء إلى الصفر تقريبا (إيجابى)، وأن القتلة يستحقون الموت (معيارى)، وأن من العدل والقانون أن تقوم الدولة بإعدامهم (معيارى). ويرى المعارضون أن الردع غير فعال (إيجابى)، وأن نتائج الأحكام يعتمد على التعصب العرقى (إيجابى)، وأن معدل الأخطاء- إعدام أبرياء- مرتفع وسيبقى مرتفعا (إيجابى)، ومن الخطأ أن تقوم الدولة بعمليات قتل (معيارى).

في قضية تغير المناخ، تجمع أيضا المناقشات في كل جوانب المناظرة بين المقولات الإيجابية والمعيارية. يرى أنصار العمل على خفض انبعاث غازات البيوت الزجاجية أن المناخ ارتفعت حرارته، وأن أفعال الإنسان مسئولة إلى حد كبير عن الارتفاع الحديث، ومن المحتمل أن تستمر التغيرات وتتسارع- وكلها مقولات إيجابية. ويرون أيضا أن التأثيرات الناجمة على الموارد والأنظمة البيئية والمجتمع من المحتمل أن تكـون شديـدة بشكـل لا يحتمل، وأننا يمكن أن نحد من تغير المناخ في المستقبل بتكلفة مقبولة- تصريحات تجمع بين المقولات الإيجابية عن طبيعة التأثيرات المتوقعة، وفرص التغير التكنولوجي، والتأثير وتكلفة الاستجابات، مع مقولات معيارية عن مدى قبول هذه التكاليف. كل هذه المقولات، إيجابية ومعيارية، يفندها المعارضون للعمل على التقليل من الانبعاث.

لكن بينما قد تشمل المناقشات السياسية كل من المقولات الإيجابية والمعيارية، فإنها لا تأتي محددة بدقة أو معقودة بشكل منفصل. في الحقيقة، كثير من المناقشات، كالتي ذكرناها سابقًا، تضفر بين العناصر الإيجابية والمعيارية. على سبيل المثال، تأمل التصريح، "علم المناخ غير مؤكد بدرجة لا تسمح له بتبرير القيود المكلفة على نمونا الاقتصادي." يقول إن القيود على الانبعاث غير مبررة، وتبدو وكأنها مقولة معيارية. لكن المقولة تعتمد أيضا على فرضيات مضمرة بشأن مسائل إيجابية، تشمل ما نعرفه (ومدى ثقتنا في معرفتنا به) عن مدى السرعة التي من المحتمل أن يتغير بها المناخ، والتأثيرات التي تنجم عن ذلك، والوسائل المتاحة للحد من سرعة هذه التغيرات، وتكلفتها وصعوبتها. التي تطرح هذه المناقشة ربما وضعت هذا

كله فى الاعتبار للوصول إلى حكمها بأن القيود على الانبعاث ليست مبررة. لكنك عند سماع هذه المناقشة، عليك أن تضع فى الاعتبار إن مصيبة فى هذه الفرضيات لتقرر إن كنت ستتفق أم لا مع استنتاجها. ربما تتفق معها تمامًا على وضع المعرفة العلمية التى قد تبرر الفعل، وتختلف معها بشأن الاستنتاج إذا اختلفت معها بشأن حالة المعرفة العلمية.

يمكن أن تكون الفرضيات المضمرة خلف أية مناقشة معيارية مثلما يمكن أن تكون إيجابية. تأمل المقولة، "اتفاقية كيوتو" قد تكلف الاقتصاد الأمريكى مئات البلايين من الدولارات بينما تعفى الصين والهند من أى أعباء." تصرح بشىء ما عن تكاليف سياسة معينة، وتبدو وكأنها مقولة إيجابية. لكن التصريح له أيضا قوة بلاغية، حيث أنه يتضمن بقوة أن من الخطأ أو ربما من الحماقة بالنسبة للولايات المتحدة أن تنضم إلى اتفاقية كيوتو. سواء كانت المقولة الإيجابية صحيحة أم لا، تكتسب هذه القوة البلاغية من عدة فرضيات مضمرة، بعضها إيجابى وبعضها معيارى: إن هذه التكلفة باهظة جدا، مقارنة بالفوائد التى قد تعود بها اتفاقية كيوتو على الولايات المتحدة؛ إن فرض الأعباء الأولية لتخفيض الانبعاث على كاهل الدول الصناعية الكبرى جائر؛ والسياقات الأخرى للعمل المتاحة أمام الولايات المتحدة أفضل.

هذا التماس بين مقولات إيجابية ومعيارية، وبين مناقشات صريحة وفرضيات مضمرة قوية، يعوق مشاورات معقولة بشأن القرارات السياسية. يثير الارتباك، ويؤجج الصراع، ويجعل من الصعوبة على المواطنين التوصل إلى رأى مستنير. وقد يكون هذا التماس غير متعمد أحيانا، أو قد

يكون متعمدًا ليثير الارتباك فى المناظرة، من قبيل حجب مناطق اتفاق محتمل. بالطبع، لا يمكن دائمًا فصل أجزاء المناقشة بدقة. لكن الفصل بينها بقدر المستطاع، وجعل الفرضيات الأساسية التى ترتكز عليها المناقشات السياسية صريحة، يمكن غالبا أن يقلص الصراع ويحدد أسسًا لفعل متفق عليه بين أناس يحملون مبادئ سياسية مختلفة.

فصل المقولات الإيجابية عن المعيارية مهم خاصة فى قضايا البيئة نتيجة الدور المركزى الذى لعبته المقولات الإيجابية، بشأن سلوك الأنظمة البيئية، فى هذه المناظرات. يعرض المشاركون فى المناظرات السياسية حول البيئة مواقفهم غالبا باعتبارها مؤسسة على العلم، حتى حين يقدم آخرون مقولات علمية معارضة تمامًا. ربما يقول مؤيد: "يوضح الدليل العلمى أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية على يد الإنسان يرفع حرارة الأرض"، ويقول آخر: "لا يوجد دليل علمى على أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية على يد الإنسان يرفع حرارة الأرض." بافتراض أن المصطلحات فى هذين التصريحين معرفة بوضوح واتساق، لا يمكن أن يكون الاثنان صحيحين. يمكن أن يساهم حل النزاع حول المقولات الإيجابية مساهمة جوهرية فى الحد من الاختلاف بشأن سياق الفعل الذى علينا أن نتبعه.

وهذا الحل ممكن غالبًا. فى الحقيقة، فى الكثير من قضايا البيئة، المعرفة المتعلقة بالموضوع أكثر تقدمًا والاتفاق العلمى أكثر قوة مما قد تعتقد من مراجعة المناظرة السياسية فى الصحيفة أو فى الويب. وهذه بالتأكيد هى الحال بالنسبة لتغير المناخ العالمى. نعرف أكثر عن المناخ، وكيف يتغير، وكيف يحتمل أن يستمر التغيير فى ظل الضغوط الإنسانية المستمرة، مما قد

توحى به نظرة على مناظرة سياسية. لفهم السبب، نستكشف فى البداية كيف تعمل العملية الاجتماعية التى نسميها "العلم". ثم نستكشف كيف تجرى عملية صناعة القرار السياسى، وما يحدث حين تلتقى معا هاتان العمليتان الاجتماعيتان المختلفتان حقًا.

٢-٢ كيف يعمل العلم؟

العلم عملية تطور معرفتنا الجمعية بالعالم بفرض مقولات إيجابية واختبارها. العلم نشاط **اجتماعى**- ليس بمعنى أن الحفلة نشاط اجتماعى، شيء نقوم به بهدف المتعة فى صحبة الآخرين، لكن فى الحقيقة بمعنى أن ما يقوم به فريق رياضى أو أوركسترا نشاط اجتماعى: نشاط يكتسب قوته من تسخير مهارات أناس متعددين وجهودهم سعيًا لتحقيق هدف مشترك. قوة العملية الاجتماعية للعلم فى الإجابة على مسائل إيجابية وتطوير معرفتنا بالعالم، رغم أنها ليست مطلقة أو كاملة، لا نظير لها فى تاريخ الإنسان.

كما هو الحال مع فريق رياضى أو أوركسترا، ينضم الناس إلى جماعة العلماء بالتدريب والممارسة حتى يظهروا أن مهاراتهم ومعرفتهم كافية للمساهمة فى هدف المجموعة. أيضا كما هو الحال مع فريق رياضى أو أوركسترا، هناك قواعد وإرشادات تحدد كيف تسعى جماعة علمية وراء هدفها وكيف يساهم العلماء فرادى فى الجهد الجماعى. فى العلم، تشكل القواعد والإرشادات منهجًا- وصف ما يقوم به العلماء يوجد فى افتتاحية كل كتاب دراسى تمهيدى فى العلم. مع اختلاف أوصاف المنهج العلمى فى

التفاصيل، لكنها فى جوهرها بنية منطقية من ثلاثة أجزاء. الأول: وضع فرضيات أو حدس عن كيفية عمل العالم- وتسمى فرضيات. الثانى: تقديم تفسير لما تتضمنه الفرضية للوصول إلى دليل ينبغى أن نكون قادرين على ملاحظته. ثالثا: اختبار الفرضية بالنظر إلى الدليل.

يمكنك استخدام هذه البنية المنطقية للبحث لفحص أية مسألة إيجابية، صغرت أو كبرت: "لماذا تختفى مفاتيحى باستمرار؟"، أو "من قتل كوك روبين؟"، أو "كيف تتكون النجوم؟"، أو "هل يختطف الغرباء الناس؟"، أو "هل نشاط الإنسان يرفع حرارة الأرض؟" فى مجالات علمية معينة، توجد قيود إضافية فى تطبيق هذا المنهج تأتى من الحالة الحالية للمعرفة المقبولة فى المجال، تحدد ما يعتبر مسألة مهمة وإجابة مهمة مقبولة. إن فرضية تناقض المعرفة المستقرة تعتبر- بشكل معقول- خطأ مؤكدا تقريبا، ومن غير المحتمل أن تلقى أى اهتمام. على سبيل المثال، فرضية جديدة بأن الأرض ثابتة فى الفضاء والأجسام السماوية تدور حولها، أو أن الإصابة بالميكروبات لا تسبب أمراضًا، لن تلقى أى اهتمام.

لكى تساهم فرضية فى تقدم المعرفة العلمية، يجب أن تكون **قابلة للاختبار**. وهذا يعنى أنها يجب أن تتضمن توقعات معينة عن الأشياء ينبغى أن تكون قادرًا على ملاحظتها. إن المعانى المعينة لفرضية هى ما يجعلها عرضة للتفنيد بالدليل. إذا نظرت بدقة ولم تر ما تقول الفرضية إنك ينبغى أن تراه، أو ترى ما تقول الفرضية إنك لا ينبغى أن تراه، تستنتج أن الفرضية يحتمل أن تكون خطأ. ربما ينبغى تعديلها لتكون متوائمة مع الدليل، لكن هذه الإضافة المتعلقة بالكفاءات والتعقيد للفرضية لتضع فى اعتبارها

الدليل المضاد يُنظَر إليها بريبة. يمكن أن تساهم الفرضية المحددة والقابلة للاختبار، التى حين تختبر يتبين أنها خطأ، فى تقدم المعرفة العلمية. ربما، على سبيل المثال، تساعد الجهود المباشرة للوصول إلى خطوط مثمرة أكثر من البحث عن تشجيع شخص على وضع فرضية أفضل. لكن الفرضية التى ليست لها نتائج قابلة للملاحظة، أو كانت نتائجها مبهمة أو مائعة جدا بحيث يستحيل معرفة ما قد يعتبر دليلا مضادا، عديمة الجدوى فى البحث العلمى. لهـــذا ليس لدى العلم ما يقوله عن المسائل المتعلقة بالمعتقد الدينى، مثل وجود الرب.

يقدم اختبار الأبوة توضيحا بسيطا لكيفية استخدام الدليل لاختبار فرضية. قبل ظهور اختبار الدنا DNA، كانت الأنماط المعروفة من وراثة فصائل الدم تستخدم غالبا فى اختبار معرفة الأب البيولوجى لطفل عند إنكار هذا الطفل. إذا كانت فصيلتا دم الأم والطفل من نوعين معينين، فإن هذا يحد من الفصائل المحتملة لدم الأب. على سبيل المثال، إذا كانت فصيلة دم الأم A وفصيلة دم الطفل B، لا يمكن أن تكون فصيلة دم الأب إلا B أو AB. تأمل فرضيتك بأن جيمس هو الأب. حتى تكون هذه الفرضية صحيحة، ينبغى أن تكون فصيلة دم جيمس B أو AB. إذا لاحظت أن فصيلة دم جيمس A فإن هذه الملاحظة (باستثناء احتمال الخطأ فى الملاحظة أو خلط العينات) تنفى بحزم فرضية أن جيمس هو الأب. لاحظ، مع ذلك، إذا وجدت أن فصيلة دم جيمس B، فإن ذلك لا ينفى الدليل أنه الأب، لكنه لا يثبت أيضا أنه الأب. الأب الحقيقى يمكن أن يكون جيمس، ويمكن أن يكون أى رجل آخر فصيلة دمه B أو AB[١].

---

(١) الاختبارات الوراثية الحديثة أقوى من اختبارات فصيلة الدم، لأنها ترصد خصائص كثيرة. لكن نتائجها، مثل اختبارات فصيلة الدم، حاسمة فى النفى فقط: إذا لم يتطابق الدنــا الخــاص بك=

يوضح هذا خاصية عامة للبحث العلمى، ترفض الفرضيات بحسم أكبر من الذى يتم به دعمها. ولأن الفرضيات تصاغ لتتضمن دليلا معيناً قابلا للملاحظة، فإن الدليل المضاد الحاسم يقضى على الفرضية عادة؛ لكن الدليل المؤيد يمكن أن يظهر أحيانا بالتزامن، حتى لو كانت الفرضية خطأ. تلخص هذه الخاصية أحيانا بقول إن العلم لا يثبت شيئاً أبدا، لأنه بينما تظل فرضية على قيد الحياة لفترة كافية وتقبل بالاختبار المتكرر باعتبارها صحيحة، تبقى دائما عرضة للخطأ بدحضها باختبار ما فى المستقبل.

فى بعض مجالات العلم، تتولد الملاحظات المستخدمة لاختبار الفرضيات من خلال التجارب، بعزل الظاهرة مجال الاهتمام فى مختبر ومعالجة بعض الشروط بفاعلية مع التحكم فى شروط أخرى لتوليد ملاحظات تستهدف بدقة الفرضية التى نختبرها. يمكنك أن تفعل هذا إذا كنت تدرس التفاعلات الكيميائية، أو سلوك أشباه الموصلات، أو الخصائص الوراثية لذبابة الفاكهة. لكن بالنسبة لبعض المسائل العلمية، من قبيل مسائل تتعلق بسلوك الغلاف الجوى للأرض، أو تكون النجوم، أو تطور الحياة فى الماضى السحيق، لا يمكنك القيام بمثل هذه التجارب التى يتم التحكم فيها فى مختبر. لا يمكن، ومن غير المقبول، أن نضع الأرض فى مختبر ونعالج

=مع كل خصائص العينة موضوع القضية لا تكون العينة منك. إذا تطابقت كل الخصائص. فمن المحتمل أن تكون العينة منك لكن بصورة غير مؤكدة. فى أحد الأشكال المبكرة لاختبار الدنا فى موضوع الأبوة، على سبيل المثال، التطابق التام يبقى تقريبا عند فرصة ٠.٢%- فرصتين فى الزوج- بأن الأب ليس أنت، لكنك شخص اخر تطابقت خصائصه مع كل الخصائص التى تم اختبارها.

بعض خصائص الغلاف الجوى لنلاحظ الاستجابة. لكن يبقى من الممكن غالبا ملاحظة العمليات التى تحدث بشكل طبيعى لجمع الأدلة المطلوبة لاختبار الفرضية.

على سبيل المثال، تقول نظرية النسبية العامة التى وضعها اينشتاين إن الجاذبية ينبغى أن تثنى مسار شعاع الضوء، بالضبط كما تثنى مسار كرة ألقيت فى الهواء. رأى عالم الفلك سير أرثر إدنجتون أن هذا الجزء من النظرية يمكن اختباره بملاحظة وضع مجموعة من النجوم يكون موضعها، كما نراه على الأرض، قريبًا جدًا من حافة الشمس. إذا انثنى ضوء ينتقل من نجم إلى الأرض وهو يمر خلال مجال جاذبية قوية قرب الشمس، فينبغى إذن أن يظهر وضع النجم (مقارنة بالنجوم الأخرى) منحرفاً عن موضعه حين يلاحظ فى السماء فى الليل. الشمس، مع ذلك، ساطعة جدا بحيث تكون الطريقة الوحيدة لملاحظة الموضع الظاهرى للنجم حين يكون قريبا من الشمس أثناء كسوف الشمس. سافرت مجموعة إدنجتون إلى برنسيل ، بعيدا عن ساحل أفريقيا، لالتقاط صور فوتوغرافية للنجوم أثناء كسوف الشمس فى ٢٩ مايو ١٩١٩. أظهرت مقارنة هذه الصور الفوتوغرافية بصور للنجوم نفسها فى الليل أن الضوء انثنى حقا بجذب جاذبية الشمس، بقدر قريب مما توقعته نظرية النسبية العامة.

العمل الذى قام به العلماء فرادى فى مجموعات ليس إلا الخطوة الأولى فى العملية الاجتماعية المتعلقة بالعلم. سواء افترض العمل مقولة نظرية ("عندى تفسير جديد لثقب الأوزون") أو ملاحظة ("لدى مقياس لتدفق الكربون بين الغابات والغلاف الجوى")، ينبغى الحكم عليه من قبل المجموعة

العلمية المناسبة. تبدأ هذه العملية بتدوين العمل والنتائج- مع وصف دقيق لما تم عمله وكيفية القيام به، والبيانات، والحسابات أو طرق التحليل الأخرى، بشكل مثالى بتفصيل كاف بحيث يمكن لشخص على دراية كبيرة بهذا المجال أن يقوم بالعمل مرة أخرى- ويوافق على نشره فى دورية علمية.

يأتى التحكم الرسمى الأول الذى يمارسه الوسط العلمى على نوعية العمل العلمى فى هذه النقطة. لن تنشر الدوريات العلمية بحثًا حتى يفحصه نقديًا علماء آخرون خبراء فى الموضوع. فى هذه العملية، وتعرف بمراجعة الرفاق، وظيفة المراجعين النظر إلى أى أخطاء أو ضعف- فى البيانات المستخدمة، أو الحسابات، أو طرق إجراء التجارب، أو تفسير النتائج- قد تلقى بظلال من الشك على نتائج البحث. العملية تتم عادة دون ذكر أسماء، وهكذا يكون المراجعون أحرارا فى تقديم رأيهم المهنى الصادق دون خوف من إحراج أو جزاء.

تتعلق المتابعة فى مراجعة الرفاق بكل شىء فى المسار العلمى. ليجذب عمل علمى الانتباه ويحظى بالاحترام، يجب أن ينشر فى دوريات يراجعها الرفاق. يجب أن تذهب عروض المنح العلمية أيضًا عبر مراجعة الرفاق. ليحصل العلماء على وظائف ويحتفظوا بها ويحققوا كل الأشكال الأخرى من المكافآت والمكانة العلمية، عليهم أن ينجحوا فى الحصول على عملهم من خلال مراجعة الرفاق.

مراجعة الرفاق مصفاة بالغة الفاعلية، تحجب معظم الأخطاء عن النشر، لكنها لا يمكن أن تمنع كل المشاكل. يفشل المراجعون أحيانًا فى

ملاحظة خطأ واضح، وهناك أنواع من الأخطاء لا يستطيع المراجعون التعرف عليها. لا يستطيعون معرفة إذا كان المؤلف أساء قراءة ملاحظات جهاز، أو دوَّن رقما خطأ، أو إن كانت العينات الكيميائية المستخدمة فى تجربة ملوثة. بالإضافة إلى ذلك، لا تستطيع مراجعة الرفاق غالبا كشف الحيل البارعة، كما هو الحال فى حالات نادرة حين يكون العمل العلمى محل المناقشة لم يجر حقا.

لكن مراجعة الرفاق ليست إلا المستوى الأول من مستويات كثيرة للاختبار وضبط الجودة المطبق على المقولات العلمية. عند نشر مقولة مهمة أو جديدة فى دورية، يختبر العلماء الآخرون النتيجة بمحاولة تكرارها، غالبًا باستخدام مجموعات مختلفة من البيانات، أو تصميم التجارب، أو تقنيات التحليل. بينما يمكن أن يقترف عالِمٌ خطأ، أو يجرى تجربة واهية، أو يسيء تفسير النتائج (وربما يفشل المراجعون من الرفاق فى إدراك ذلك)، من غير المحتمل أن تقع عدة مجموعات مستقلة فى الخطأ نفسه. وبالتالى، وعلماء آخرون يكررون ملاحظة، أو يختبرون مسألة باستخدام مقاربات مختلفة ويحصلون على الإجابة نفسها، يتزايد قبول الوسط للمقولة باعتبارها صحيحة.

على سبيل المثال، مبكرا فى الخلاف حول استنفاد الأوزون، اقترحت نظرية أن انطلاق الكلوروفلوروكربونات ينبغى أن يتسبب فى نقص الأوزون، لكن لم يكن هناك نقص يمكن رؤيته بالملاحظة فى ذلك الوقت. فى أوائل ثمانينيات القرن العشرين، بدأ قليل من العلماء افتراض أن النقص يمكن ملاحظته فى آخر مقاييس الأوزون. وكانت هناك مشاكل كثيرة فى البيانات،

مع ذلك، وحين قام بفحصها علماء آخرون، استنتجوا أن النقــص المفترض لا يمكن تمييزه عن تلف جهاز القياس، وكان من المعروف أنه يحدث. ونتيجة لذلك، رفضت هذه المقولات. ثم فى ١٩٨٨، اقترح تحليل جديد يحتوى على بيانات أحدث دليلا أقوى على النقص. لأن هذه المقولة كانت بالغة الأهمية، راجعت ثلاث فرق علمية أخرى البيانات التى تقف وراء المقولة الجديدة وأعادوا تحليلها، كما قاموا بتحليل البيانات ذات الصلة. فى هذه المرة وجدت الفرق الأخرى أيضا نقصًا فى الأوزون، مماثلا فى الحجم لذلك الذى قام بحسابه الفريق الأول. ومن ثم تم تأكيد النتيجة، وقبل علماء الغلاف الجوى وجود نقص حقيقى فى الأوزون العالمى.

ما مدى صلابة مراجعة الرفاق حقا؟

بالغة الصلابة. ربما تتوقع أن تكون مراجعة الرفاق مجرد موافقة، أو طريقة يربت بها العلماء على ظهور بعضهم البعض، لكنها عادة اختبار نقدى جدا للعمل المعروض للنشر. خطاب الرفض التالى من محرر دورية (حررت غفلا من الاسم) يعطى مذاقا لمدى ضرورة العملية.

العزيز دكتور سميث

تلقيت مراجعات بحثك، "النظائر، والإشارات الموسمية، والانتقال قرب التروبوبوز الاستوائى"[1]. على أساس هذه المراجعات.

(١) التروبوبوز Tropopause: الحد بين التروبوسفير والاستراتوسفير، على ارتفاع ٨-١٨كم (المترجم).

أعتذر لأننى لا أستطيع قبول هذا البحث للنشر فى شكله الحالى. كان قرارا صعبا، حيث أوصى المراجع A والمراجع B بالرفض، بينما موقف المراجع C أكثر إيجابية بشأن الدراسة. لكن حتى المراجع C لديه شكوك خطيرة، بشأن مشاكل رقمية محتملة فى النموذج ومقارنة غير كافية للنتائج بالملاحظات. بالنسبة للمراجع A والمراجع B غير واثقين تمامًا من أن النموذج ملتزم بشكل كاف بالملاحظات القليلة المتاحة. واهتم المراجعون جميعا بأن حساسية النموذج للكثير من البارامترات parameters المتناغمة يجعل النتائج متوقعة. وبوضع خطورة هذه المسائل فى الاعتبار، لا أستطيع قبول المخطوطة. ومع ذلك، حيث أن المراجع A اقترح إمكانية إجراء الدراسة مرة أخرى حتى يكون قبولها ممكنا والمراجع C مؤيد لها بشكل عام أحثك على مراجعة البحث بدقة وتقديم نسخة جديدة- إذا كنت تعتقد أن هذه المسائل يمكن معالجتها بشكل كاف. فيما يتعلق بذلك، يطلب المراجع A تحليلا أكثر حساسية تماما، ويطالب كل المراجعين بتبرير أكثر تفصيلا للكثير من القرارات التى اتخذت فى تشكيل النموذج. وينبغى القيام بذلك بالإشارة إلى الملاحظات حيث يكون ذلك ممكنا، وحيث لا يتم ذلك يمكن أيضًا استخدام المناقشات والنتائج الفيزيائية من دراسات سابقة. إذا اخترت هذا المسار، من فضلك عليك أن تنتبه إلى كل تعليقات المراجعين، كبرت أو صغرت، وتستجيب بالتفصيل على كل نقطة أثارها كل مراجع.

مع تحياتى

جون ك. اسم مستعار، المحرر

ماذا يعنى هذا؟ لم يقتنع المراجع A والمراجع B أن التحليل العلمى للبحث يدعم استنتاجاته. بينما أوصى المراجع C بقبول البحث. نظر المحرر بدقة إلى المراجعات والبحث، وقرر أنه يتفق مع المراجع A والمراجع B، ورفض البحث. لكن بينما كانت هذه النسخة غير مقبولة. فقد ينجح المؤلفون فى جعل العمل قابلا للنشر. ينصحهم المحرر بمراجعة العمل، ومراعاة انتقادات المراجعين. والمحاولة مرة أخرى.

هذه العملية متعددة الطبقات، المتعلقة بنقد المقولات العلمية الجديدة واختبارها وتكرارها عملية عامة وجماعية وغير شخصية. يقع العلماء فرادى فى أخطاء، وهم عرضة للانحياز أو التعصب أو الحماس، مما قد يعيق رؤيتهم، مثلما هو حالنا جميعا. لكن مهما تكن القوة التى قد يأمل بها العالِم فى الإجلال نتيجة قبول مقولته الجديدة، أو رغبته فى نتيجة تتفق مع معتقداته السياسية أو مصالحه المالية، يعرف العلماء أن أية مقولة يفترضونها، وخاصة إذا كانت مهمة، سوف يفحصها بشكل نقدى علماء آخرون وأن العمل المهلهل المنحاز، أو ضعيف السند من المرجح أن يكتشف أمره. بالإضافة إلى ذلك، يضفى العلماء التقدير والمكانة على المدققين فى أعمالهم. منتقدين وعادلين فى آرائهم. وحذرين فى تقديم المقولات. ويمكن أن تدمر المقولات المتطرفة، أو الاختبار المتعصب أو المنحاز، أو تسجيل

النتائج بشكل يشويه نقص فى الأمانة السمعة إلى حد بعيد بشكل يجعل لدى العلماء بواعث قوية لتوخى الحذر.

نتيجة هذه العملية من الاختبار الجماعى، والبواعث المضمرة فيها، جعل العلم محافظًا جدًا. يقع عبء البرهان على عاتق الشخص الذى يجعل أية مقولة تعزز المعرفة الحالية أو تناقض معتقدًا حاليًا. كلما كانت المقولة التى تقدم جديدة وأكثر أهمية، زاد التفحص والاختبار اللذين تخضع لهما وارتفع معيار الدليل المطلوب لقبولها: تتطلب المقولات الاستثنائية دليلا استثنائيًا. وهذه هى الطريقة التى يحافظ بها العلم على استقرار مجموعة المعارف التى يتلقاها ويحمى بها نفسه من الأخطاء والبدع.

هذه العملية المتعلقة بصياغة الفرضيات واختبارها من خلال ملاحظات دقيقة مكررة لا تولد حقيقة مثبتة. لا **يثبت** العلم شيئًا أبدًا. حتى الفرضيات التى خضعت لاختبار متكرر وتُقبل تبقى عرضة للسقوط باختبار ما فى المستقبل. لكن بعض المقولات تم التحقق منها بشكل جيد، بجمع أدلة مستقلة، تحل الخلافات بشأنها. وترفض المقولات المعارضة، حتى أنها تعتبر حقائق ببساطة. على سبيل المثال، مما يقبل الآن باعتباره حقائق أن بناء الدنا DNA حلزونى مزدوج، وأن الذرة تخضع لقوانين ميكانيكا الكم، وأن احتراق الوقود الحفرى زاد من غزارة CO_2 فى الغلاف الجوى. هذه المقولات تم التحقق منها بشكل جيد حتى أن خضوعها للمزيد من الاختبار يعتبر غير ضرورى وغير مهم.

هل يعمل العلم بهذه الطريقة حقا؟

ليس بالضبط، لكن بشكل قريب منها بما يكفى. هذا الوصف مبسط للطريقة التى يمارس بها العلم فى الحقيقة. كشفت عدة عقود من البحث فى تاريخ العلم وسوسيولوجيا العلم كيف وكم تختلف ممارسة العلم عن هذا النموذج، وبشكل خاص كيف تطبع العوامل الاجتماعية ممارسة العلم. كانت البصيرة الأساسية أكثر من غيرها بصيرة توماس كوهن، الذى أدرك أن التقدم الطبيعى فى مجال علمى يعتمد على مستوى عميق من الافتراضات المشتركة التى تحدد أى الأسئلة مهمة، وأى خطوط البحث واعدة، وأية فرضيات مقبولة ومهمة. هذه الافتراضات المشتركة، التى دعاها كوهن "النماذج"، لا تفحص صراحة وحتى لا يدركها بالضرورة العلماء الذين يتبنونها. نادرًا ما تتغير النماذج، فى الفترات الثورية التى تتبع تراكم كتلة حاسمة من "الشواذ"- نتائج لا تتوافق مع النموذج المقبول، لكنها تنحى جانبا بشكل مؤقت.

العلم ليس عملية منطقية مجردة، لكنه مسعى إنسانى جماعى. على هذا النحو، تختلف ممارسته الفعلية عن هذا الوصف المثالى بطرق متنوعة. تؤثر العوامل الاجتماعية، مثل المكانة والكاريزما، والمهارات البلاغية إلى حد ما على تحديد المناقشات التى تحظى بالاهتمام والثقة. لا تختبر المقولات كلها أو تكرَّر على الفور. والآراء التى تحظى بالإجماع فيما يتعلق بالأسئلة المثيرة والمهمة لا تتشكل على أسس منطقية صرفة. لكن قوة هذه العمليات الاجتماعية على التأثير فى محتوى ما يقبل باعتباره معرفة علمية

محدودة ومؤقتة. المقولات البارزة التى لا تصمد أمام الاختبار تُرفض فى النهاية، بصرف النظر عمن يدعمها. والمعتقدات المقبــولة التى تراكم شواذ كافية يعاد اختبارها فى النهاية، وتنقح أو ترفض، مهما تكن مشجعة أو عصرية.

كيف يمكنك أن تعرف إن كان الوسط العلمى المناسب قد قبل المقولة باعتبارها "صحيحة"؟ الطريقة الأكثر مصداقية أن تطلع على أدبيات المراجعة التى قام بها الرفاق من أجل تأكيدات متعددة مستقلة. بالطبع هناك عوامل أخرى توضع فى الاعتبار بالإضافة إلى عدد التأكيدات. بعض الاختبارات أكثر صرامة من غيرها، على سبيل المثال، بالضبط كما أن اختبار الأبوة بواسطة الدنا أكثر صرامة -أكثر احتمالا فى رفض التوافق- من اختبار فصيلة الدم. حين تتعارض الملاحظات الأحدث التى روجعت جيدا مع الملاحظات القديمة، تمنح الملاحظات الجديدة قيمة أكبر لأن أدوات الملاحظة تتحسن عمومًا مع تقدم التكنولوجيا. المدى الذى تختبر به المقولات المتنافسة وترفض مهم أيضا- إذا طرحت كل الفرضيات ورفضت واحدة بوضوح، يُحتمَل أكثر قبول الفرضية المتبقية، على الأقل مؤقتًا، حتى إذا كان الدليل المؤكد الذى يدعمها ليس قاطعًا.

تؤثر سمعة العلماء القائمين بالعمل أيضا على رغبة الوسط فى الإيمان بمقولة. من المحتمل أن يمنح العمل نفسه قدرًا أكبر من التصديق حين يقوم بالعمل عالم له شهرة راسخة فى العمل الدقيق الوافى مما لو قام به عالم مجهول أو معروف بأنه قام بأعمال ضعيفة فى الماضى. حمل تأكيد ادنجتون

للنسبية العامة قيمة أكبر، وربما قبِل بشكل أسرع، نتيجة سمعته البارزة فيما يتعلق بالملاحظات الدقيقة بشكل بالغ الدقة.

حتى لو كانت المعرفة العلمية مؤقتة دائمًا وغير مثبتة دائمًا، يقدم الإجماع العلمى القوى قاعدة أفضل للاعتماد على حقيقة مقولة إيجابية مما تقدمه أية عملية إنسانية أخرى فيما يتعلق بالسعى وراء المعرفة. بالطبع يحتمل أن يكون إجماع علمى قوى خطأ. نتذكر هذه الاحتمالية فى الحالات التى تتضارب فيها نتائج جديدة وفى النهاية تُسقِط فهمًا كان مقبولا من قبل. لكن بينما يحدث هذا ويولد كثيرا من الإثارة والانتباه حين يحدث، لكنه نادر الحدوث.

خطر أن يتبين فيما بعد أن إجماعًا كان خطأ بالنسبة لأنواع من المقولات العلمية أكبر من أنواع أخرى. الخطر أعظم ما يكون بالنسبة للنظريات الأساسية، خاصة إذا كانت أقوى نبوءاتها تتعلق بمسائل تتجاوز قدرتنا الحالية على الملاحظة. لن نندهش كثيرًا إذا حلت ذات يوم محل نظرية اينشتاين عن الجاذبية نظريةٌ أخرى، بالضبط مثلما سبق أن حلت نظرية اينشتاين محل نظرية نيوتن عن الجاذبية. ويكون الخطر أقل ما يكون بالنسبة للمقولات الملموسة البسيطة، مثل ملاحظة مفردة أو مقياس مفرد. حين يتكرر فحص ملاحظة باستخدام طرق متنوعة وتُقبَل باعتبارها صحيحة، من غير المحتمل تماما أن يتم إسقاطها فيما بعد. بين هاتين الحالتين المتطرفتين، المقولات المتعلقة بالارتباطات بين ملاحظات مختلفة نستنبط منها السبب والنتيجة على أرضية أضعف إلى حد ما، لكنها تبقى قوية جدا. قد نندهش بشدة إذا علمنا فى المستقبل أن التدخين لا يزيد من خطر الإصابة بالسرطان، أو أن كيمياء الكلور لا تسبب ثقب الأوزون فى القطب الجنوبى، رغم إمكانية حدوث أى منهما من حيث المبدأ.

الدرس الذى نستنتجه من هذه المناقشة هو أنه حين يكون هناك إجماع علمى قوى فى نقطة إيجابية، فليس أمام من يهتمون بالإجابة من خارج الوسط العلمى المناسب أفضل من الاعتماد على الإجماع. لسوء الحظ أنه ليس مفيدًا دائمًا، لسببين: ربما لا يوجد إجماع قوى على مسألة علمية مرتبطة بالسياسة؛ أو ربما يوجد إجماع لكن يصعب على أى شخص خارج المجال ملاحظته. ربما لا يوجد إجماع لأن مسألة جوهرية تكمن أبعد من القدرات الحالية للمعرفة أو البحث، أو ببساطة لم تجتذب قدرًا كبيرا من الجهد العلمى- ربما لأن المسألة، رغم الأهمية المدركة بالنسبة للسياسة، تعتبر قليلة الأهمية فى المنظور العلمى. بشكل آخر، ربما تكون المسألة محل بحث، تجمع أدلة لكنها لم تُحل تمامًا، ربما مع اختلاف العلماء حول مدى ثباتها. من نتائج الطبيعة الحذرة المحافظة للعلم أن قبول مقولات جديدة يحدث ببطء، ربما بشكل أبطأ بكثير مما يلزم عملية صناعة السياسة.

مثال: اكتشاف ثقب الأوزون فى القطب الجنوبى وتفسيره:

يوضح اكتشاف ثقب الأوزون فى القطب الجنوبى والتأكد منه والبحث عن سببه كيفيه فحص المقولات العلمية واختبار الفرضيات. فى ١٩٨٢، لاحظ باحثون مع المسح البريطانى للقطب الجنوبى أن الكمية الكلية للأوزون على محطتهم فى أكتوبر- فى أوائل ربيع القطب الجنوبى بدا أنها تنخفض بشكل حاد عن مستويات ستينيات القرن العشرين والسبعينيات. (يوضح الشكل ٢-١ هذه البيانات، ممتدة إلى منتصف تسعينيات القرن العشرين.) بدا الأوزون فى الشهور الأخرى طبيعيًا. رأى العلماء فى البداية أن الخطأ قد يكون ناجما عن الجهاز- وهو تفسير محتمل دائمًا

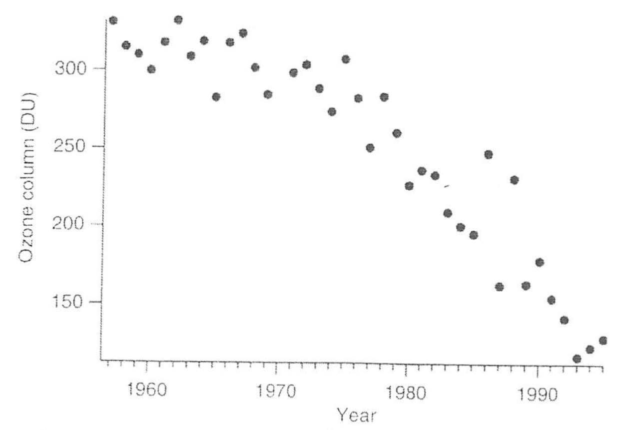
لملاحظة غير متوقعة على نطاق واسع- وقضوا عامين فى فحص نتائجهم والتأكد منها قبل تسليمها للدورية العلمية "Nature"، حيث ظهر بحثهم فى يونيو ١٩٨٥. خلقت الملاحظات عاصفة علمية مشتعلة. تمت مراجعة النتائج من قبل الرفاق، لكن هذه النتيجة الدرامية احتاجت تأكيدا مستقلا. وحدث ذلك سريعا بمراجعة البيانات الأرشيفية من جهاز فى قمر صناعى، وبمزيد من عمليات القياس على أيدى مجموعات عديدة.

وهكذا كان الفقد حقيقيا، لكن ما سببه؟ تنبأ علماء الغلاف الجوى لعشر سنوات أننا سنرى استنفاد الأوزون نتيجة الكلوروفلوروكربونات. لكن هذا الفقد الملاحظ كان يحدث فى زمان ومكان مضادين حقا للمكان الذى قالت نظرية الأوزون- الكلوروفلوروكربونات، وكانت أكثر بكثير. لم يكن من الواضح إذن ما إن كانت الكلوروفلوروكربونات هى السبب، أم أنه نتيجة لسبب آخر.

طوال السنة التالية، فُرضت ثلاث نظريات متنافسة لتفسير الفقد الفظيع. تتضمن كل منها أشياء مختلفة ينبغى أن تكون قابلة للملاحظة فى منطقة فقد الأوزون. رفضت الملاحظات فى عام ١٩٨٦ وعام ١٩٨٧ بشكل قاطع نظريتين من هذه النظريات. وقدمت دعما قويا للثالثة.

فرضت النظرية الأولى أن الأوزون كان يُدمَّر نتيجة أكسيدات نيتروجين تحدث بشكل طبيعى، وزادت فى طبقة الاستراتوسفير فوق القطب الجنوبى بعد ذروة دورة ١١ عاما من الطاقة الشمسية. وإذا كان هذا صحيحا، كان ينبغى وجود عدة دلائل. ينبغى أن يصاحب فقد الأوزون تركيزٌ عالٍ من أكسيدات النيتروجين. وينبغى

أن يكون أكثر ما يكون فى الاستراتوسفير العليا حيث يحدث معظم إنتاج أكسيد النيتروجين. بالإضافة إلى ذلك، ينبغى أن يكون هناك فقد مماثل للأوزون بعد سنوات الذروة الشمسية السابقة مثل التى حدثت بين عام ١٩٥٨ وعام ١٩٦٩، وينبغى أن تعكس ما فقد بحلول منتصف ثمانينيات القرن العشرين. لم تجد الملاحظات فى ١٩٨٦ تأكيدا لأى من هذه النبوءات، واستبعدت هذه الفرضية بسرعة: كان فقد الأوزون أكبر ما يكون فى الاستراتوسفير السفلى وكان مصحوبًا بمستويات منخفضة، وليست مرتفعة، من أكسيدات النيتروجين؛ بالإضافة إلى ذلك، لم تكشف سجلات الأوزون فقدا مماثلا بعد الذرى الشمسية السابقة، وكان الفقد يتسارع بوضوح، ولا يتراجع، خلال الثمانينيات.



الشكل ٢-١ مجمل الأوزون فى الغلاف الجوى فى أكتوبر فوق خليج هالى، القطب الجنوبى، مقيسا بالمسح البريطانى للقطب الجنوبى. ويتم التعبير عن كمية الأوزون فى العمود بوحدات دوبسون *Dobson Units* (*DU*).

المصدر: بتصرف عن Fig. 7.2 of Dessler (2000)

افترضت النظرية الثانية أن التغيرات فى حركة هواء الاستراتوسفير على مستوى العالم تقلل انتقال الأوزون إلى القطب الجنوبى. هذه النظرية أيضا تنبأت بعدة ملاحظات خاصة. ينبغى أن تكون درجات الحرارة فى مناطق الفقد باردة بشكل غير معتاد. وينبغى أن تكون دوامة رياح الاستراتوسفير التى تحيط بالقطب الجنوبى فى الشتاء أقوى من المعتاد وتستمر لفترة أطول فى الربيع. والأكثر حسما، ينبغى أن تكون الحركة العامة للهواء تحت منطقة الفقد وفيها إلى أعلى. مع أن الملاحظات الأولى قدمت دعما محدودا لهذه النظرية- بدا أن الدوامة أقوى بشكل غير معتاد وبدا أن الجو فى أكتوبر يزداد برودة- رفضت هذه النظرية فى ١٩٨٧ حين صار من الواضح أن هواء القطب الجنوبى يهبط عموما، ولا يرتفع كما تتطلب النظرية.

افترضت النظرية الثالثة أن الأوزون يُدمَّر بتفاعلات كيميائية تم التعرف عليها حديثا يحفزها الكلور المحمول إلى الاستراتوسفير بواسطة CFCs. افترض علماء مجموعات متعددة تفاعلات مختلفة، لكنها جميعا تطلبت أن نوعا معينا من الكلور، أول أكسيد الكلور (ClO)، ينبغى أن يتواجد بوفرة حيث يحدث فقد الأوزون. وجدت ملاحظات متزامنة للأوزون وأول أكسيد الكلور من الطائرات خلال ثقب الأوزون فى سبتمبر ١٩٨٧ دعما قويا بشكل لافت لهذه الفرضية. زاد أول أكسيد الكلور مائة ضعف فى كل مرة تدخل فيها الطائرة منطقة فقد الأوزون، ويهبط مرة أخرى حين تغادرها. هذا الارتباط السلبى بين أول أكسيد الكلور والأوزون- حين يزيد أول أكسيد الكلور يقل الأوزون- كان دقيقا تماما مما جعل كثيرا من

الملاحظين يدعونه "بندقية الدخان"- إحدى الحالات النادرة التى تقبل فيها الفرضية على أساس ملاحظة واحدة قوية. على مدى الشهور القليلة التالية، والنتائج تراجع من أجل النشر وتناقش فى الاجتماعات العلمية. تشكل إجماع قوى. استمر وازداد. حول أن CFCs والمـــواد الكيميائية المرتبطة بها هى السبب الأساسى لثقب الأوزون.

بشكل بديل، قد يوجد إجماع فى وسط علمى ويصعب على أى شخص خارج المجال أن يراه. تركز المناقشات العلمية على ما يهم العلماء: ليس ما رسخ، لكن على الجديد، وغير المؤكد، والخلافى. بالإضافة إلى ذلك، حتى حين يوجد إجماع قوى على نقطة معينة، ربما يحجبه عمن هم خارج المجال قليل من المؤيدين ذوى الصوت العالى لرأى معارض، حتى لو كان هذا الرأى المعارض قد رفض بحسم. وحيث أنه حتى العلماء فى المجالات الأخرى قد يفتقرون إلى المعرفة الخاصة للحكم على مزايا المقولات المعارضة فى الأدبيات المتخصصة، فـــإن ممثلى السياســـة غيـــر العلميين لا يمكن أن يأملوا هم أنفسهم فى صياغة أحكام مستقلة. عليهم فى الحقيقة أن يعتمدوا على شكل من التلخيص والتوليف لما يعرفه الوسط العلمى وإلى أى حد من الثقة يعرفه. يناقش القسم ٢-٥ دور هيئات التقييم العلمى فى تقديم مثل هذا التوليف.

٢-٣ السياسة ومناظرات السياسة

لا تهتم السياسة بالمسائل الإيجابية، لكنها تهتم بالفعل الجماعى: لا تهتم بما هو صحيح، لكن بما سنفعل؟ تطوق السياسة عمليات النقاش والتفاوض

والصراع حول أفعال أو قرارات مشتركة- غالبًا قرارات ما سوف تتبناه الهيئات الحكومية من سياسات. ومثل معظم ساحات التنافس، تتضمن السياسة نزاعًا لكنه نزاع مقيد. المنافسات الرياضية، تُعرَّف الحدود بقواعد اللعبة كما يفرضها ويفسرها الحكام. فى السياسة، تُعرَّف الحدود ببنية القواعد والمؤسسات التى تتخذ فيها القرارات. فى دولتنا، تتم صناعة السياسة فى بنية معقدة من دساتير وقوانين وتقاليد تسلم بسلطات معينة لاتخاذ القرارات وفرض قيود متنوعة على ممارسة تلك السلطة.

تكون السلطة التى عليها اتخاذ القرارات بسيطة ومطلقة أحيانا: يتمتع رئيس الولايات المتحدة بالقدرة على منح العفو فى الجرائم الفيدرالية. والأغلب، رغم ذلك، أن تُحدَّد السلطـــة بقواعـــد تحـــد من كيفية ممارستها، أو بسلطة مرتبطة بها يحتفظ بها آخرون. على سبيل المثال، فى ظل قانون الهواء النظيف فى الولايات المتحدة، تتمتع هيئة حماية البيئة بسلطة تشريع قواعد للحد من المواد الكيميائية التى تستنفد طبقة الأوزون. لكن لكى تقوم هيئة حماية البيئة بذلك ينبغى أن تقدم دليلا على أن المادة الكيميائية المطلوب الحد منها مستنفدة للأوزون بقوة كافية تجعلها تقع تحت متطلبات القانون، ويجب عليها نشر القواعد المقترحة لمدة ٩٠ يوما لتلقى التعليقات، وينبغى عليها الرد على التعليقات التى تتلقاها قبل إصدار القواعد النهائية. إذا فشلت هيئة حماية البيئة فى الوفاء بهذه المتطلبات، ربما يكون للأطـــراف الذيـــن لا يتفقون مع القاعدة القدرة على إلغائها بالاعتراض عليها فى المحكمة. بالإضافة إلى ذلك، حيث أن سلطة هيئة حماية البيئة على وضع هذه القواعد

مخولة لها من قبل الكونجرس فى قانون الهواء النظيف، يمكن للكونجرس تعديل هذه السلطة أو سحبها بتعديل القانون(١).

أحيانا، وخاصة بالنسبة للقضايا التى لم تضع لها الحكومة تشريعا من قبل، قد تكون السلطة المرتبطة بالقضية موزعة على نطاق واسع، أو محددة بصورة مبهمة، أو غير محددة على الإطلاق. كلما كانت القضية أحدث والخطوط الموجودة للسلطة أقل وضوحًا، كانت العملية السياسية مائعة بصورة أكبر فيما يتعلق بطبيعة القرارات الأساسية، ومن يضعها، ومن يؤثر فيها، والعوامل التى تساهم فى الوصول إلى النتيجة. تختلف النظم السياسية فى الدول المختلفة فى الانفتاح العام بالنسبة للتأثير الشعبى على القرارات، وفى قنواتها الخاصة بالنسبة للتأثير. حتى فى النظم المنفتحة بشكل كبير كما فى الولايات المتحدة، رغم ذلك، تكون ممارسة التأثير على قرار سياسى صعبة، وتتطلب مزيدا من الوقت، أو الطاقة، أو المال، أو المهارة الاستراتيجية أو الحظ. ولأنها بهذه الصعوبة، فإن من يتحركون للتأثير على السياسة فى أية قضية يمثلون عادة كسرًا ضئيلا من الناخبين(٢).

---

(١) حيث إن هذا القسم من القانون يلبى التزام الولايات المتحدة فى ظل معاهدة دولية، اتفاقية مونتريال، فإن تغيير القانون لسحب هذه السلطة قد يضع الولايات المتحدة فى وضع المنتهك للمعاهدة. وبينما قد يجعل هذا الكونجرس يفكر مرتين بشأن القيام بمثل هـذا التغيير، لكنـه لا يستبعد سلطته فى القيام بذلك، لأن الولايات المتحدة لها سلطة الانسحاب من المعاهدات الدولية.

(٢) ومع ذلك، لا تعنى الأعداد القليلة لمن ينشطون فى قضية، أن أعدادا قليلة تهتم بها: يأتى الرأى العام فى كل الأشكال والأحجام. لا توضع قضية فى الأجندة السياسية دون أن يكون هناك على الأقل عدد صغير من الناس يهتمون بها. لكن بقية الشعب قـد يفهمـون القضية=

العدد الضئيل الذى يتحرك للتأثير على السياسة يفعل ذلك لأسباب كثيرة. ربما يعتنق البعض آراء قوية بشأن الصواب الذى عليه القيام به أو الاهتمامات الأفضل للأمة. قد يتوقع البعض أن يستفيدوا من القرارات المقترحة أو يلحق بهم الضرر بطريقة معينة- على سبيل المثال، تؤثر على صحة عائلاتهم أو رفاهيتها، أو تساعد سبل عيشهم أو تؤذيها، أو تؤثر على قيمة ممتلكاتهم أو ربحية أعمالهم. قد يكون لدى البعض طموح لممارسة قوة سياسية أو تأثير سياسى. يمكن لأى من هذه الدوافع أن تثير خلافات بين مجموعات تسعى للتأثير على السياسة. قد تتنافس مجموعتى مع مجموعتك لتكون علامة أساسية فى الصفقة فى سياسة البيئة؛ قد تفيد القاعدة المقترحة صناعتى وتضر صناعتك؛ أو قد أعتقد بحماس أن البيئة تحتاج إلى مزيد من الحماية، وتعتقد بالحماس والإخلاص نفسيهما أن قواعد البيئة تهدد الحريات الأساسية.

يتحدث الناس أحيانًا، كما نفعل هنا، عن "المناظرة السياسية" فى قضايا عامة مثل تغير المناخ. لكن وصف صناعة السياسة بالمناظرة مضلل إلى حد ما. تكسب مناظرة بإقناع الناس- أطراف ثالثة غير متحيزة، ومناوئيك أحيانا- بأن الحجج التى فى صالح مسار العمل الذى تقترحه أقوى من تلك

=أو لا يفهمونها أو قد يبالون بها أو لا يبالون، ومن يبالون بها قد يتفقون عموما أو ينقسمون فيما بينهم بقوة. يحاول النشطون فى قضية ادعاء أن موقفهم تدعمه بقوة "الأغلبية الصامتة" حين يستطيعون. تميل الآراء العامة لأن تكون الأقوى ومعظمهم منقسمون فى قضايا تثير اختلافات عميقة فى المبدأ، من قبيل الإجهاض أو عقوبة الإعدام. بينما يعبر معظم الناس عن دعم قوى لحماية البيئة، لا يثار هذا إلا نادرا لدرجة قوة الآراء المشحونة عادة بالبعد الخلقى.

التى على الجانب الآخر. فى صناعة السياسة، قوة الحجج على كل جانب مهمة، لكن باعتبارها عاملا من عوامل كثيرة تؤثر فيما يحدث. يستخدم ممثلو السياسة طرقا كثيرة لتشكيل دعم للقرارات التى يريدونها: الحجج المنطقية الجيدة حين تكون متاحة، لكن أيضا الحجج المتحيزة أو غير الدقيقة، اتهامات بالتعاطف أو التعصب، الإطراء أو التلاعب، الوعود والتهديدات، صفقات لتبادل الدعم فى قضايا أخرى، وأحيانا- ورغم أن هذا غير قانونى فى معظم الدول- الرشوة والإكراه.

لكن فى هذا الخليط المعقد من العوامل التى تشكل القرار السياسى، الحجج المنطقية مهمة عادة على الأقل بشكل ضئيل، وأحيانًا بشكل كبير. تكون الحجج مهمة أكثر حين تكون قضية بارزة بشكل كاف، وتدرك باعتبارها تتمتع بدعم مالى مرتفع، وأنها تجذب انتباه الجماهير وتدقيق وسائل الإعلام. يزيد هذا التدقيق من اهتمام المشرعين والمسئولين بالتصرف بكفاءة ونزاهة فيما يخص المصلحة العامة- وبرؤيتهم وهم يتصرفون على هذا النحو- وهكذا يقلصون المجال بالنسبة لمزيد من الأشكال الأكثر غباء وتسترًا من التأثير السياسى، التى قد تكون مربكة إذا اكتُشفت. تكون الحجج المنطقية أكثر أهمية أيضا حين تكون القضية جديدة تمامًا وتكون طبيعتها، بالتماثل النسبى مع القضايا الأخرى، ونتائج الأعمال البديلة، غير واضحة. فى ظل هذه الظروف، قد يكون كثير من الممثلين متشككين بشأن السياق الأفضل: قد تقدم مبادئهم السياسية العامة دليلا واهيا، وربما تكون اهتماماتهم غير واضحة. يتسم تغير المناخ بهذه الخصائص: قدر كاف من البروز بحيث تتعرض صناعة القرار السياسى لتدقيق شديد، جدة شديدة لتحدى خطوط

السلطة الموجودة، وشكوك شديدة حتى أن الكثير من الممثلين لا يتفقون بشكل متوقع طبقا للمبادئ السياسية لأى منهم أو لكيفية تأثير القضية عليهم- رغم اكتساب القضية بشكل كبير، على مدى السنوات القليلة الماضية، كثيرًا من الأنصار فى الولايات المتحدة.

وبالتالى، تغير المناخ قضية نتوقع فيها أن تكون الحجج المنطقية، الإيجابية والمعيارية، مؤثرة. فى الحجج المعيارية، تكون مناظرة صريحة بين وجهات نظر متنافسة، ربما تكون بعضها متعارضة بشكل مباشر، مهمة. إذا كانت مجموعة فى مناظرة عن تغير المناخ ترى أن التزامنا الأساسى حماية البيئة، بينما ترى أخرى أن الأولوية للحريات الفردية، ليس أى من المجموعتين على صواب أو خطأ. من الملائم تماما لأنصار هذه الآراء المتبارية أن يتنافسوا لإقناع صناع السياسة والمواطنين. ليس للعلم والعلماء سلطة خاصة فى هذه المناظرة. مع ذلك، فى الحجج الإيجابية ذات الصلة، مثلما هو الحال بالنسبة للتغير الملحوظ فى المناخ، أسباب هذه التغيرات، والطبيعة المحتملة لتغير المناخ فى المستقبل فى ظل ما يدخله الإنسان من إضافات، تتمتع المعرفة العلمية بسلطة خاصة ومن ثم تساهم بشكل أكبر. لكن هذه المساهمة المحتملة كثيرا ما تعاق بالافتقار إلى فهم الاختلافات بين المناقشات العلمية والمناقشات السياسية.

يتعلق أهم هذه الاختلافات بدوافع المشاركين، والقواعد التى يعملون فى ظلها. يكتسب العلماء مكانة مهنية بتقدم المعرفة المشتركة، وأيضا بحرصهم فى تفسير المقولات الجديدة وحيادهم فى تقييم المقولات المتنافسة. بينما توجد اختلافات ومنافسات حقيقية فى المناظرات العلمية، تقدم هذه

المعايير عناصر أساسية للاهتمام المشترك، وهكذا من النادر أن تكون المجادلات العلمية خالصة، نزاعات "محصلتها صفر". يفيد تقدمُ المعرفة المشروعَ العلمي في مجموعه، حتى إذا حظى الشخص الذى حقق الاكتشاف الفائدة الأكبر.

فى المناظرات السياسية، يمكن أن تكون هناك أيضا اهتمامات مشتركة على نطاق واسع- على سبيل المثال، فى عدم ضياع المال العام فى مشاريع عديمة الجدوى أو على الفساد، أو حماية الدولة من تهديدات قوى أجنبية معادية- لكن الاهتمامات المتنافسة أكثر بروزًا. يكافأ ممثلو السياسة على نجاحهم بطرق متعددة حيث مكسب شخص يعنى خسارة الآخر، من قبيل اكتساب السلطة والحفاظ عليها، مشرعين سياسات تتوافق مع مبادئهم السياسية، وموجهين فوائد عمل الحكومة (على سبيل المثال، الإنفاق على مشاريع الأعمال العامة) إلى مؤيديهم وعناصرهم. حتى حين تكون قضية مثل تغير المناخ جديدة جدًّا وغير مؤكدة حتى أن الناس يرون بوضوح أقل أين تكمن اهتماماتهم المادية، تظل هذه البواعث تدخل عناصر تنافسية فى كل القرارات السياسية.

يتعلق الاختلاف الثانى الأساسى بين المناقشات العلمية والسياسية بقواعد المناقشة المقبولة. القواعد فى المجالين كليهما غير مدوَّنة غالبًا، مدفوعة فقط بقبول الآخرين واستهجانهم ، لكنها تبقى مهمة. قواعد الحجة العلمية مقيَّدة جدا. مهما يكن دافع العلماء، عليهم أن يتناقشوا وكأن دافعهم بشكل صرف السعى وراء المعرفة. العالِم الذى يكسر القواعد- الذى يقدم مقولات جارفة اعتمادا على دليل محدود، أو يفشل فى الاعتراف بأنه يمكن أن يكون مخطئا، أو ينتقى الأدلة بشكل انتهازى ليدعم رأيه، أو يتجاهل الأدلة

المعارضة أو يقدمها بصورة سيئة، أو يقدم حججا مفعمة بالعاطفة، أو يهاجم المعارضين هجوما شخصيًا- يخاطر لا محالة بإلحاق الأذى بسمعته وموقفه المهنى.

قواعد المناقشة السياسية أكثر تساهلا بكثير. فى المناظرات السياسية، المقولات المبالغ فيها أو المنتقاة أو المتحيزة، ومناشدات العواطف، والهجمات الشخصية التى ليس لها علاقة بموضوع القضية المثارة، مؤثرة غالبًا ونادرًا ما تؤدى إلى عقاب أو حتى تُستهجَن. حتى الحيل الأكثر عدوانية، من قبيل الهجمات الشخصية التى لا ترتبط بالموضوع ارتباطًا جوهريًا، ومناشدات التحيز، والكذب الصريح، لا تُقيَّد إلا بشكل ضعيف. ربما يفعل الغضب الشعبى هذا، لكن من النادر أن يستمر طويلا ليكون مؤثرا، بينما ينبغى أن يكون المعارضون السياسيون حذرين فى وضع مثل هذه الحيل فى الحسبان، حيث إنهم أيضا قد يستخدمونها أحيانا. بالإضافة إلى ذلك، هناك طرق كثيرة للفوز بموقف فى مناظرة سياسية. إحدى هذه الطرق التمتع بسمعة بالنسبة للمعرفة والصدق، لكنها تمثل جمهورا مهما، أو حقيقيا بأن من المحتمل أن تكون مؤثرا. وبالتالى، لا يعرض فقد المصداقية العلمية موقفا فى مناظرات سياسية للخطر بالضرورة. من منظور العواقب الأقل نتيجة السير عبر هذا الخط، يكون أنصار السياسة أكثر رغبة من العلماء فى المغامرة بالمصداقية لتحقيق أهدافهم.

٢-٤ حين يلتقى العلم والسياسة:

الكثير من المناظرات السياسية، بما فيها واقعيا كل قضايا البيئة، يعتمد جزئيا على المقولات الإيجابية عن العالم بأن المعرفة العلمية، من حيث المبدأ، يمكن أن تفض الاشتباك. وتعتمد رغبتنا فى إنفاق الأموال وفرض

قيود على بعض الأنشطة اعتمادا جزئيًا على طبيعة ما تحدثه أو يحتمل أن تحدثه من تغيرات المناخ- طبيعتها وحجمها وسرعتها وتأثيرها على من نهتم بهم وما نهتم به. وهذه مسائل إيجابية يمكن للعلم تقديم حلول لها.

لكن لا يمكن للعلم وحده- أو بالنسبة لهذا الموضوع، المقولات الإيجابية وحدها- أن يخبرنا بما علينا القيام به. حتى لو كانت النتائج البيئية للأعمـــال البديلة موصوفـــة بشكل كامل وبثقة، فإن إقرار ما ينبغى القيام به لا يزال يتطلب تقييم مدى اهتمامنا بالنتائج والأعباء التى نقبلها للتقليل منها. ومن الأسهل رؤية هذا فى الحالات المتطرفة. إذا أشارت الأدلة العلمية بثقة إلى أن بعض التقنيات والأنشطة لا تمثل أى خطر على البيئة، فمن الواضح أنه لن يكون هناك دعم للحد من هذا النشاط على خلفية بيئية. وعلى العكس، إذا أوضحت أدلة قوية أن نشاطًا ما من المحتمل أن يجلب معه تغيرات مأساوية تهدد باندثار حياة الإنسان على الأرض، لن يكون علينا أن نبالى كثيرا بما إن كان الناس يحكمون على هذا النشاط بأنه شىء سيئ قبل اتخاذ القرار بالحد منه.

نادرا ما نتمتع بهذه الثقة الشديدة بشأن النتائج المتطرفة، بالطبع. لكن حتى فى المناظرات السياسية الواقعية، هناك دعم على نطاق واسع لدرجة ما من الحيطة فى قضايا البيئة- تجنب التغيرات البيئية الخطيرة الراسخة بشكل كاف، حتى لو كان هذا يعنى تحمل بعض النفقات والأعباء. ويمنح هذا قوة خاصة للمقولات العلمية بشأن الكيفية التى تغير بها أنشطة الإنسان البيئة، رغم وجود مساحة للاختلافات السياسية مختبئة فى تلك المحددات فى الجملة السابقة: "التغيرات الخطيرة" (مسألة إيجابية جزئيا بشأن طبيعة التغيرات،

مسألة معيارية جزئيا بشأن كيفية تقييمها)؛ "الراسخة بشكل كاف" (مسألة إيجابية جزئيا بشأن مدى رسوخها بثقة، مسألة معيارية جزئيا بشأن الثقة التى تبرر الفعل)؛ "بعض النفقات والأعباء" (مسألة إيجابية جزئيا بشأن طبيعة النفقات والأعباء المطلوبة لخفض الخطر بدرجة معينة، مسألة معيارية جزئيا بشأن النفقات التى تكفل تحقيق مثل هذا الخفض).

يعنى هذا الوضع الخاص للمقولات العلمية أن المناظرات العلمية ومناظرات سياسة البيئة ترتبط ارتباطًا وثيقًا. من ناحية، المعرفة العلمية بشأن نتائج سياقات بديلة للفعل ضرورية لاتخاذ قرار عام مسئول فى قضايا البيئة. ومن الناحية الأخرى، يريد كل ممثل سياسى أن يزعم أن مواقفه مؤسسة على العلم، بصرف النظر عن طبيعة موقفه. وهذه جزئيا حيلة بلاغية عامة، حيث أن أى موقف يمكن أن يلتزم بسمعة العلم فى سعى نزيه وراء الحقيقة يبدو أكثر إقناعًا. لكنه أيضا يخدم الغرض الأضيق لتقديم مواقف خاصة. إذا كنت تستطيع إقناع الناس بأن الدليل العلمى يشير إلى أن الخطر الذى يهدد البيئة مستقر وثابت، فمن المحتمل أكثر أن يدعموا فعلا مكلفا أو قيودا لتجنب الخطر؛ أقنعهم بالعكس، ويكون من المحتمل أكثر أن يرفضوا القيود. هذا ما يجعل الكثير من ممثلى السياسة، والكثير منهم جهلة نسبيا بالعلم، يميلون للدخول فى مناقشات علمية.

نتيجة اختلاف الأهداف والقواعد فى المجال العلمى والمجال السياسى، يفرض هذا التفاعل المشوش- المستحيل تجنبه- بين العلم والسياسة التحدى على الجانبين. تتحدى السياسة العلم لأن المسائل الإيجابية التى تعتبر مناسبة للقرارات السياسية ربما تصاغ بشكل سيئ، أو يضعها ممثلو السياسة إطارا

لأغراض بلاغية لصالحهم. على سبيل المثال، مسائل من قبيل "هل تغير المناخ يمثل أزمة؟" أو "هل نواجه كارثة مناخية؟" يحتمل أن تحبط محاولات لتقديم مادة علمية مفيدة، لأنها تعتمد تمامًا على مسائل غير علمية تتعلق بالتعريف الذى تقدمه لكلمة "أزمة" أو "كارثة". حتى حين تصاغ مسائل علمية مرتبطة بالسياسة بوضوح وحياد، ربما تتجاوز القدرات العلمية الحالية على تقديم إجابة لها، الآن وربما لسنوات طويلة. هذه هى الحالة، على سبيل المثال، بالنسبة للتنبؤات الدقيقة بتغير المناخ فى مواقع معينة: كيف سيتغير المناخ حيث أعيش، وما آثاره؟ لكن كثيرا ما تتطلب المناظرة السياسية إجابات واضحة ومحل ثقة وسريعة، وغير متعاطفة مع الحذر العلمى.

ولأن كثيرا من العلماء يفضلون التركيز على أعمالهم العلمية، فإن من يدخلون فى مناظرة عامة يفعلون ذلك بخليط غريب من الدوافع. بعضهم ذوو اهتمامات مدنية وشجعان؛ ويؤمن البعض بأن مكانتهم العلمية تمنح وزنًا معينًا لآرائهم السياسية؛ ويسعى البعض إلى الساحة العامة لعوائدها الخاصة- الصيت أو الشهرة، وأحيانا التأثير أو الربح. بالإضافة إلى ذلك، فى ساحات السياسة من الصعب تمييز المقولات العلمية الراسخة من المقولات غير النموذجية، أو تنم عن جهل، أو الشاذة، أو تتسم بالكذب الصراح. حتى حين يكون الإجماع العلمى فى نقطة قويا ومؤسسا بشكل جيد، قد يصعب إقناع الجمهور العادى حين تجادل ضد مناوئ ماهر بلاغيا، خاصة إذا كان شخصا يعمل طبقا للقواعد الأكثر تساهلا للمناظرة السياسية.

العلماء الفرادى الذين يودون المشاركة فى المسئولية فى مناظرة عامة يواجهون مأزقا بشعا. قد يحاولون نقل حالة المعرفة والشك بشكل يتسم

بالمسئولية، فيتعرضوا لخطر اعتبار حذرهم العلمى ترددًا أو عجزا عن الكلام بوضوح. أو قد ينحُّون جانبا نزعتهم العلمية المحافظة ويحاولون صياغة فهمهم فى مصطلحات أبسط يحتمل أكثر أن تلقى صدى وتُفهَم فى مجال عام، ويتعرضون لخطر الاتهام بالتطرف أو السعى وراء الشهرة. يحاول بعض العلماء حل هذه الورطة برسم حدود واضحة بين أدوارهم بوصفهم علماء ومواطنين، معبرين بدقة عن آراء محددة لعلماء ثم يغيرون موقفهم صراحة للحديث بشكل أكثر بساطة وأكثر قوة بوصفهم مواطنين مهتمين بالقضية، لكن من الصعب الحفاظ على هذه الحدود عمليا. يقدم موقف علمى لمتحدث بشكل لا فكاك منه اعتمادا إضافيا لآرائه السياسية، حتى حين يستخدم الموقف العلمى لكسب المنصة بهذه الطريقة يضع هذا الموقف فى خطر. بالإضافة إلى ذلك، لا يزال أحيانا موقف من يحاولون وضع هذه الحدود بين الآراء العلمية والشخصية مستهجنا، بسبب تسييس علمهم، من قبل زملائهم فى العلم أو، وهو الأكثر، من قبل ممثلى السياسة الذين يتبنون آراء معارضة. إذا وضعنا كل هذه المخاطر فى الاعتبار، من السهل أن نفهم الأسباب التى تجعل كثيرا من العلماء يحجمون عن الانخراط فى مناظرة عامة فى قضايا ترتبط بخبرتهم العلمية، حتى لو كانوا يفعلون ذلك من واقع مسئوليتهم المدنية.

يفرض أيضا التفاعل بين المناقشات العلمية والسياسية تحديا صعبا على ممثلى السياسة من غير العلماء، فَهُمْ باستثناءات نادرة، يفتقرون إلى الوقت والتدريب على قراءة نقدية للأدبيات المراجعة من قبل الرفاق. وتحمل محاولات غير المتخصصين للقيام بتقييم مستقل للمقولات العلمية خطر

الوقوع فى الخطأ بشكل كبير، لأنه حتى المقولات الزائفة تماما يمكن صياغتها لتبدو مستساغة من قبل شخص لا يعرف المجال. مرة أخرى، يقدم تاريخ المناظرة حول طبقة الأوزون مثالا واضحا. فى ١٩٧٤، خلال شهور من اقتراح أن الكلور فى الكلوروفلوروكربونات يمكن أن يدمر أوزون الاستراتوسفير، بدأ المعارضون السياسيون للحد من الكلوروفلوروكربونات ادعاء أن هذا مستحيل لأن جزيئات الكلوروفلوروكربونات أثقل بكثير من الهواء بحيث لا يمكن أن ترتفع إلى الاستراتوسفير. يبدو هذا الادعاء وكأنه بديهى: رأى كل شخص تقريبا مزيجا من سوائل مختلفة الكثافة، مثل الجازولين فى الماء أو الزيت والخل فى السلطة، وفيها يستقر السائل الأثقل فى القاع. لكن سواء كان الادعاء بديهيا أو لم يكن، فهو زائف بوضوح بالنسبة لأى شخص يعرف خصائص الغلاف الجوى. الغلاف الجوى ليس وعاء منعزلا تماما، لكن الرياح تقلبه باستمرار، رأسيا وأفقيا، وهكذا فإن الغازات طويلة العمر مثل الكلوروفلوروكربونات تُمزَج فى تركيز متسق من السطح إلى ما فوق الاستراتوسفير، بصرف النظر عن وزنها. ورغم الزيف الواضح لهذه المقولة بالنسبة لأى شخص على معرفة مناسبة، فقد تكرر ظهورها فى المناظرة العامة لأكثر من ٣٠ عاما، دليلا مفترضا على أن الكلوروفلوروكربونات لا يمكن أن تلحق الضرر بطبقة الأوزون.

لا تمثل صعوبة تقييم المقولات العلمية المتنافسة مشكلة بالنسبة لممثلى السياسة الذين يريدون ببساطة اختيار المقولات العلمية لتدعيم مواقفهم. إن المعايير المتساهلة للمناظرة السياسية تمنح هؤلاء الممثلين قدرا هائلا من الحرية. يمكنهم أن فحص عدد كبير من الأبحاث العلمية المنشورة فى نزاع

معين للعثور على عدد قليل منها يدعم قضيتهم، حتى لو كانت أبحاثا قديمة، من المعروف أنها خطأ، أو دحضتها بحسم أعمالٌ أخرى. من بين آلاف البشر الذين يحملون شهادات علمية، يمكنهم العثور عادة على بعض المعارضين أو الانتهازيين بشكل كاف لمواصلة وضع سجل للمقولات التى يعرف فعليا كل من يعمل فى المجال أنها خطأ. إلى زمن حديث يرجع لبضع سنوات، أراد بعض العلماء أن ينشروا على الملأ أنه ليس هناك دليل مقنع علميا للربط بين التدخين والسرطان. يمكن لمؤيدين بمصادر كافية أن يدعموا ماليا مشاركة هؤلاء الأفراد فى المناظرات السياسية، أو حتى يمولوا برامج للبحث يعتقدون أن من المحتمل أن تؤدى إلى نتائج فى صالحهم.

للنجاح فى هذه الاستراتيجية، لا يتطلب الأمر بالضرورة الفوز فى مناقشات معينة. ينعم الوضع الراهن بمزية كبرى فى أية مناظرة سياسية، حيث أنه يستهلك طاقة سياسية جوهرية لإحداث أى تغيير. فى قضايا البيئة، لا تفرض قيود على النشاط أو التكنولوجيا فى الوضع الراهن عادة. وبالتالى، ربما ينجح مناوئو القيود الإضافية بانشقاق علمى مبالغ فيه ببساطة، إذا أقنعوا الناس بأن المعرفة العلمية التى تشير إلى خطر إضافى "مشكوك فيها تماما" بدرجة لا تبرر تغيير الوضع الراهن. ولا يمكن أحيانا تحقيق هذا بمجرد تقديم مناقشات كافية، حتى لو كانت كلها سيئة، لإصابة الناس بالحيرة. مع مقولة يبدو أنها تلغى مقولة مضادة، يمكن حتى لمناقشة مستقرة أن تصاغ لتبدو وكأنها تعادُلٌ لصالح الوضع الراهن بقوة.

مع انتشار هذه الحيل على نطاق واسع، تحتوى مناظرات سياسة البيئة على نغمات متنافرة من المقولات العلمية المتنافسة والمقولات المتضادة، التى

تنطلق دون اعتبار لقوة الدليل المصاحب لها أو عدد العلماء الذين يدعمونها ومكانتهم. لا يمكن بسهولة تمييز المقولات الراسخة جيدًا، التى تحظى بإجماع علمى يكاد يكون عاما من الآراء المدعومة من أقلية ضئيلة متحيزة. يدرك بالتالى كثير من المواطنين وصانعى السياسة الجهل المفرط والشك حيث يتوفر قدر كبير من المعرفة، ويدركون نزاعًا خطيرًا حيث يكون هناك إجماع طاغ.

فى ظل هذه الظروف، تكون الخيارات محدودة أمام المواطنين أو ممثلى السياسة فى مصارحة أنفسهم. قد يختار البعض ببساطة الاعتقاد بأن المقولات المتفقة مع خياراتهم السياسية، أو الوقوف بجانب الآخرين الذين يشاركونهم آراءهم السياسية العامة- لكن هذه المقاربة خطيرة، حيث أنه لا يوجد سبب يجعلك تتوقع أن الطبيعة ستقف بشكل ملائم فى صف خياراتك أو آرائك السياسية. قد ينسحب البعض ببساطة من القضية ويتركها للآخرين لحسمها. إن الذين يرغبون فى أن يضعوا فى اعتبارهم حقيقة للمعرفة العلمية فى اتخاذ قرار بشأن الأعمال التى يدعمونها يمكن أن يجدوا صعوبة فى معرفة طبيعتها. وبالنسبة للغالبية، ليس هناك بديل للاعتماد على مستوى ما من الثقة، سواء فى الأفراد أو المؤسسات. لكن من الصعب أن نعرف فيمن نثق أو فى ماذا، وإلى أى حد تكون هذه الثقة. ربما يكون لدى البعض مستشار ثقة يتمتع بخبرة علمية مناسبة، لكن فى أية قضية معينة أو نزاع لن يكون لدى الغالبية مثل هذا المستشار.

تقدم الصحافة غالبًا مساعدة ضئيلة. لا يفهم الصحفيون فى أحيان كثيرة القضايا العلمية بشكل أفضل من ممثلى السياسة. وحتى حين يفهمها

الصحفيون فإنهم يتبعون معيارا مهنيا بتقديم توازن بين الآراء المتعارضة. بالإضافة إلى ذلك، يؤدى النزاع إلى زيادة مبيعات الصحف. وحيث أن حتى القضايا المستقرة ربما يثار الجدل حولها من قبل أقلية، تبالغ الصحافة عمومًا فى تقديم الانشقاق العلمى وتقلل من شأن الإجماع. والأسوأ مع ذلك، كثيرا ما تفضل التغطية الشكل الدرامى، وهكذا قد تمنح الصحافة بروزا معينا ليس فقط لآراء الأقلية، لكن لآراء متطرفة. يُعرَض تأمُّل عالِمٍ بأن تغير المناخ العالمى ربما يحدث عودة مفاجئة إلى ظروف العصر الجليدى، أو تقديم مثل هذا السيناريو الهش فى فيلم جماهيرى، من أجل التغطية الدرامية. وهذا ما تفعله مقولات حفنة من "المتشككين بشأن المناخ" من أن الإجماع العلمى فى قضية المناخ مؤامرة سياسية. لكنها لا تقدم التقرير الدقيق عن محتوى هذا الإجماع والدليل الذى يدعمه.

٢-٥ الحد من الأضرار: دور التقييم العلمى:

يرسم القسم السابق صورة كئيبة لأمراض المناظرة العلمية والسياسية المتضافرة، لكن الوضع ليس ميئوسًا منه. ربما يستحيل تجنب الاعتراف بأن تغير المناخ قضية صعبة ومثيرة للنزاع. لكن فى الوقت الحالى، المناظرة أكثر تشوشا وإثارة للنزاع أكثر مما يتطلب الأمر، بسبب إساءة التصور على نطاق واسع لحالة المعرفة العلمية فى المسائل الإيجابية ذات الصلة بالقضية. فى رأينا، من الممكن إقامة مناظرات سياسية بحيث يمكن أن نقلل من حوافز ممثلى السياسة وفرصهم لممارسة هذه الإساءة فى التصور.

يكمن أحد المفاتيح الضرورية لمثل هذا التحسن في فصل المناظرة السياسية وتحويلها إلى مسائل منفصلة واضحة الصياغة وملاحظة طبيعة الأسئلة الإيجابية المتعلقة بالمعرفة العلمية للعالم، وطبيعة الأحكام المعيارية للمبادئ السياسية وتقييم التكاليف المناسبة والفوائد والأخطار. لا يمكن دائما رسم هذه الحدود بوضوح، لكن محاولة القيام بذلك قدر المستطاع يمكن أن تجلب منافع جمة. بالنسبة للأفراد المشاركين في المناظرة السياسية، تضيف محاولة هذا الفصل بين المقولات الإيجابية والمعيارية إلى فهم المناقشات التي يقدمها الآخرون، في تقديم قاعدة أفضل لاتخاذ قرار بشأن من نثق فيه، وبأية درجة، وفي أية مسائل، وفي التوصل إلى رأى مستنير بشأن ما نفضل من القرارات. بالنسبة للمناظرة السياسية عمومًا، يحتمل أن يقلل السعي وراء هذا الفصل بين المسائل الارتباك والخلاف، ويقدم قاعدة أكثر صحة للبحث عن مسارات للفعل قد تحظى بدعم على نطاق واسع.

بقدر ما يمكن لبعض التمييز بين المسائل الإيجابية والمعيارية أن يستمر، يكون أفضل تعامل مع النوعين التعامل معها بطرق مختلفة. المسائل الإيجابية- من قبيل الدليل على التغير الحالي في المناخ، التغيرات المحتملة على مدى العقود القادمة، ونتائجها- من الأفضل فحصها بعمليات علمية، لا بعمليات ديموقراطية. بالنسبة لهذه المسائل، حين يوجد إجماع قوى بين خبراء العلم المتعلق بالأمر، نكون أقرب للوصول إلى معرفة على أسس جيدة، جديرة باهتمام كبير في المناظرات السياسية. لا يوجد الإجماع القوى للخبراء، بالطبع، في كل المسائل الإيجابية المرتبطة بالسياسة دائمًا. حين لا يوجد، يكون المؤشر الأفضل لحالة المعرفة العلمية مدى الحكم وانتشاره

بين الخبراء المختصين، بالقدر الذى يمكن ملاحظته. حين تكون للقرارات السياسية مخاطر مرتفعة تعتمد على إجابة مسألة إيجابية- على سبيل المثال، كيف سيتغير المناخ فى ظل مختلف أشكال الانبعاث فى المستقبل- لا يمكن أن يكون أمام ممثلى السياسة أفضل من التسليم بمثل هذا الإجماع أو الانتشار لحكم الخبراء بوصفه صورة حقيقية للمعرفة الحقيقية والشك.

المشكلة مع هذه النصيحة، كما ناقشنا من قبل، أن ممثلى السياسة لا يمكن أن يلاحظوا بشكل يعول عليه مثل هذا الإجماع أو الانتشار لأحكام الخبراء بأنفسهم، بل ينبغى عليهم الاعتماد على مستشار علمى بشكل ما أو عملية استشارية. ومع ذلك، قليل من ممثلى السياسة لديهم مستشارهم العلمى الموثوق به، وعلى أى حال لا يمكن لمستشار فرد أن يقدم نصيحة يمكن الاعتماد عليها فى كل المسائل من كل مجالات العلم. وبالتالى، هناك حاجة لعمليات استشارية علمية يمكن أن يعتمد عليها العديد من ممثلى السياسة، لتقديم إجابات يمكن الاعتماد عليها، وجديرة بالثقة، ويسهل فهمها للمسائل العلمية المرتبطة بالسياسة. تسمى عملية توليف المعرفة العلمية وتقييمها وتوصيلها لتوجيه السياسة أو القرارات "**التقييم العلمى**". وهناك طرق كثيرة لتنظيم عمليات التقييم العلمى ومعالجتها، لكنها تتضمن عادة تشكيل لجنة من الخبراء المختصين تحت إشراف هيئة كفء نزيهة. تكلّف اللجنة بمراجعة المعرفة الراهنة والشكوك فى مسائل مرتبطة بالسياسة، وتكتب تقريرًا عامًا يشمل ملخصات يمكن لغير المتخصصين فهمها بوضوح.

تربط التقييمات العلمية مجالات العلم والسياسة الديموقراطية، لكنها تتميز عن كل منهما. تختلف عن العلم لأنها، بدلا من أن تقدم حدًا نشطا

وخلافيا للمعرفة فى مسائل مهمة لاهتمامها الثقافى الفعلى، تسعى إلى وضع إفادات مُجمَع عليها فيما يتعلق بالمعرفة والشكوك فى مسائل مهمة بسبب نتائجها بالنسبة للسياسة والقرارات. وتختلف عن مناظرة السياسة الديموقراطية لأنها تعكس التشاور فى مسائل إيجابية بين خبراء العلم مؤسسة على معرفتهم المتخصصة، وليس بين كل المواطنين أو ممثليهم بشأن ما يجب عمله.

الحاجة إلى تقييم علمى فعال لدعم صناعة سياسة البيئة على كل من المستوى القومى والمستوى الدولى معروفة على نطاق واسع لمدة ٢٥ عامًا على الأقل. هناك طرق كثيرة للقيام بتقييمات علمية، وهيئات كثيرة تقوم بها. تطلب الحكومة الفيدرالية فى الولايات المتحدة غالبًا من الأكاديمية القومية للعلوم تقديم النصح فى المسائل العلمية والتقنية المرتبطة بالسياسة القومية، وأسست أحيانا هيئات خاصة للتقييم العلمى فى قضايا ذات أهمية خاصة أو مثيرة للخلاف. ويمكن للتقييمات العلمية أن تلعب دورا أقوى فى صناعة سياسة البيئة على المستوى الدولى، لأنها يمكن أن تصدر تصريحات موثوق فيها بشأن المعرفة العلمية التى تسمو على الاختلافات فى مواقف السياسة القومية. على سبيل المثال، لعبتْ هيئات تقييم علم الغلاف الجوى عن أوزون الاستراتوسفير دورًا مؤثِّرًا بشكل خاص فى الوصول إلى اتفاق دولى للحد من المواد الكيميائية المستنفدة للأوزون، بصياغة تصريحات واضحة للغاية وموثوق فيها بشأن قضايا علمية محورية.

ينبغى للتقييمات العلمية الناجحة أن تجتاز بمهارة المسار بين متطلبات العلم والسياسة، ملبية معايير الجانبين. ينبغى أن تحشد صفوة خبراء العلم

لتقديم ملخص دقيق وموثوق فيه للمعرفة الحالية، وتتحرر بقوة من التحيز فى أجندتها ومشاركتها وعملياتها ونتاجها- وتتجنب تماما أى أثر للصياغة لصالح إجابة معينة. وينبغى أيضا أن توصل بوضوح، بمصطلحات بسيطة تجعلها سهلة الفهم فى المناظرة السياسية، وأن تكون مناسبة للقرارات المطروحة فى الأجندة، وأن تقدم فى الوقت المحدد للاستفادة منها. لكى تكون مفيدة للسياسة يتطلب الأمر تقييمات للتعبير عن أحكام ما كانت لتصدر صراحة فى عمليات علمية خالصة، من قبيل الأحكام بشأن أين يقف مركز مناظرة علمية، أو القوة النسبية لمختلف المقولات المتنافسة، أو الثقة التى تأسست بها نقاط معينة. ومثل هذه الأحكام ليس من الطبيعى التعبير عنها صراحة فى الجلسات العلمية، لأن العملية العلمية يمكن أن تحقق هذه الحلول ضمنيًا، ويمكن أن تنتظرها، لكن تقديم توليف مفيد للمعرفة الحالية من أجل السياسة قد يتطلب صياغتها صراحة.

لا تنجح التقييمات دائما فى القيام بمساهمات فعالة فى المناظرات السياسية. يمكن أن تفشل فى القيام بذلك بطرق كثيرة. على سبيل المثال، تفقد بعض التقييمات مصداقيتها بوضع توصيات سياسية صريحة أو بشكل آخر تتجاوز خبرتها الموثوق فيها. فشلت تقييمات أخرى فى توليف المعرفة الحالية فى رأى موجز ومتماسك، حتى بعيدا عن النفور من صياغة أحكام صريحة عن القوة النسبية للمقولات الحالية المتنافسة أو انتشار المعرفة الحالية. ليس هناك نموذج مفرد للكيفية التى يمكن للتقييمات أن تعالج بها بفاعلية الحدود بين المناظرة العلمية والمناظرة السياسية، لكن يمكن لمناطق عديدة من المهارة والحكم أن تقدم مساهمات قوية لتحقق النجاح. على قادة

التقييمات الناجحة أن يبقوا على آذانهم يقظة لتحديد المسائل الإيجابية التي يدرك ممثلو السياسة أنها مرتبطة بالقضية ارتباطًا قويًا. عليهم أن يكونوا قادرين على حث المشاركين العلميين على مستوى من التوليف والتكامل من النادر أن يصاغ صراحة في صيغ علمية خالصة، ويبقوا محافظين على المعايير القوية للمناظرة العلمية. عليهم أيضًا أن يصدروا حكما فعالا ليبقى في مجال خبرتهم، وعليهم أن يكونوا قادرين على نقله بوضوح إلى جمهور السياسة من غير المتخصصين في العلم دون التضحية بالدقة العلمية.

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، أو IPCC، التي ناقشنا تأسيسها في الفصل الأول، هي الهيئة الأساسية المسئولة عن التقييمات العلمية الدولية لتغير المناخ. منذ تأسيس IPCC في ١٩٨٩ أنجزت أربعة تقييمات شاملة لتغير المناخ في ١٩٩٠، ١٩٩٥، ٢٠٠١، ٢٠٠٧- كما أنجزت الكثير من التقارير الأصغر والأكثر تخصصًا. كل من التقييمات الشاملة مشروع هائل. تشمل التقارير مئات العلماء من عدة دول مؤلفين ومراجعين، ومن بينهم الشخصيات الأكثر احتراما في المجال. وقد عملت هذه المجموعات على مدار سنوات طويلة لإنتاج كل تقييم شامل، وخضعت تقاريرهم لعملية مراجعة مضنية على مراحل متعددة موثقة بشكل عام. من منظور عدد العلماء المشاركين ومكانتهم وقوة عملية المراجعة التي قاموا بها، اعتبرت تقييمات IPCC على نطاق واسع التصريحات الموثوق فيها بشأن المعرفة العلمية عن تغير المناخ. ونشير إلى هذه التقييمات بشكل متكرر في تلخيص المعرفة العلمية الحالية في كل أجزاء هذا الكتاب. بالإضافة إلى ذلك، نناقش في الفصل الخامس بمزيد من التفصيل كيف اكتسبت المكانة الموثوق فيها وكيف يمكن الدفاع عنها وتعزيزها.

كما أكدنا، المسائل الإيجابيـــة ليست متاحـــة كلها للمناظرة السياسية. لا تزال العملية الفعالة للتقييم العلمى التى تدفع المسائل الإيجابية ذات الصلة إلى منتديات الخبرة تترك مسائل معيارية متنوعة يجـــب طرحها، صـــراحة أو ضمنيا، لاتخاذ القرار. وتشمل، على سبيل المثال، كيفية تقيـــيم مختلـــف أنواع التغيرات المحتملة فى المناخ مع ما يصاحبها من مخاطر ونفقات، بما فى ذلك المواقف من الشك؛ وكيفية المفاضلة بين الحاضر وأضرار المستقبل؛ ومدى التفاؤل بشأن إمكانية التغير التكنولوجى فى المستقبل لتخفيف المشكلة؛ وكيفية تقدير توزيع المفاضلات المرتبطة بالخيارات السياسية البديلة. علـــى عكس المسائل الإيجابية بشأن المناخ، يتم التعامل مع هذه المسائل على أفضل وجه فى المداولات العامة والعمليات الديموقراطية المرتبطة بصنع القـــرار. إن الادعاء على نطاق واسع بأن الاختلافات الحالية بشأن سياسة تغير المناخ المنبثقة أساسًا من الاختلافات بشأن حالة المعرفة العلمية ســـمحت لـــصانعى السياسة بتجنب التعامل مع مسئوليتهم الحقيقية، وهى استخدام هذه المـــسائل المتعلقة بالقيم السياسية فى ضوء الوضع الحالى للمعرفة العلمية لإقرار مـــا عليهم القيام به. لا يمكن دائما رسم الحدود بين المسائل الإيجابية والمعيارية عمليا بنقاء، لكننا نؤكد أنه يمكن فك الاشتباك بينها أكثر بكثير مما حدث فى المناظرة الحالية، وأن الجهود المكرسة للقيام بذلك يحتمـــل أن تـــؤدى إلـــى مناظرة سياسية مستنيرة تتسم بقدر أقل من النزاع، وربما حتى تساعد فـــى تحديد الاختيارات السياسية المقبولة على نطاق واسع.

تتبع الفصول المتبقية طموحنـــا للتمييـــز بـــين المـــسائل الإيجابيـــة والمعيارية. على أساس التمهيد العلمى الموجز فـــى الفـــصل الأول، يحـــدد

الفصل الثالث المسائل الإيجابية الأكثر أهمية بشأن المنـــاخ فـــى المنـــاظرة السياسية الحالية ويلخص الوضع الحالى للمعرفة العلمية بـــشأنها ويتـــضمن مناقشة لعدة مقولات مضادة منتشرة على نطاق واســـع. ويفحـــص الفـــصل الرابع الاستجابات السياسية البديلة فى قضية تغير المنـــاخ، مركـــزًا علـــى المعرفة الحالية للاختيارات المتاحة، ومدى فعاليتهـــا المحتملـــة، وتكاليفهـــا ونتائجها المحتملة. ويضع الفصل الخامس خطوطًا عريضة للوضع الحـــالى لسياسات تغير المناخ، ثم يعود إلى اهتمامنا الأساسى بشأن التشويه المتحيـــز وإساءة استخدام المعرفة العلمية والشك فى المناظرة السياسية. نرسم الخطوط العريضة لبعض الأمثلة البارزة لمثل هذه المناقشة، ونناقش بتفـــصيل أكثـــر كيف يمكن لعمليات التقييم العلمى الفعال أن تقلل حرية الاختيار والحـــوافز بالنسبة لمثل هذه التشويه للحقيقة. أخيرًا فى الفصل الخامس، نخطو بشكل ما إلى دور المؤيدين أنفسهم، ونقدم خطوطًا عريضة لمقاربة سياسة تغير المناخ التـــى تتمســـك بالأمـــل فى تجاوز الورطة الحالية وضمان موافقـــة علـــى نطاق واسع.

قراءات إضافية بالنسبة إلى الفصل الثانى:

Alexander Farrell and Jill Jäger, eds. (2005). *Assessments and Global Environmental Risks: Designing Processes for the Effective Use of Science in Decision-making*. Washington, DC: Resources for the Future.

تفحص الدراسات التى جمعت فى هذا المجلد كيف صممت وعولجت التقييمات العلمية والتقنية بخصوص العديد من قضايا البيئة، لتقديم بصائر عملية فى كيفية القيام بتقييمات فعالة. صادرا عن المشروع البحثى نفسه الصادر عنه مجلد .Mitchell et al المذكور فيما يلى، يستخدم هذا المجلد الإطار نفسه لتقييم التقييمات طبقا لمصداقيتها العلمية، وشرعيتها، وملاءمة القرار وبروزه.

Sheila Jasanoff (1990). *The Fifth Branch: Science Advisors as Policymakers*. Cambridge: Harvard University Press.

تفحص هذه الدراسة عن هيئات الاستشارات العلمية لمؤسسات حكومة الولايات المتحدة العمليات التى تم بها التفاوض بشأن الحدود بين المجالات العلمية والسياسية فى عدة خلافات تنظيمية، والشروط التى ساهمت إلى حد ما فى الحفاظ المستقر والمستمر على هذه الحدود- والعلاقة الاستدلالية إلى حد ما بين النصيحة العلمية واتخاذ القرارات التنظيمية- فى كل حالة.

Thomas Kuhn (1962). The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press.

كانت هذه الدراسة للعمليات الاجتماعية التى تساهم فى تقدم فروع العلم أول دراسة تلاحظ التناقض بين الطريقتين المختلفتين تماما لتغير الفهم العلمى: إنه تقدم طبيعى تراكمى يعتمد على بنية عميقة غير مفحوصة للفرضيات المشتركة (سماها كوهن "النماذج") بشأن الأسئلة المهمة والخطوط المهمة والواعدة فى البحث؛ والهبات الثورية العارضة التى تلى تراكم كمية حاسمة من النتائج التى لا تتناسب مع النموذج.

Ronald Mitchell, William Clark, David Cash, and Nancy Dickson, eds. (2006). *Global Environmental Assessments: Information and Influence*. Cambridge, MA: MT Press.

تفحص هذه المجموعة المؤلفة من دراسات لعمليات التقييم العلمى فى عدة قضايا بيئية الآليات التى يمكن بها للتقييمات توجيه القرارات السياسية والتأثير فيهـا، والظـروف التى تحدد إن كانت ستحقق ذلك. تفحص الكيفية التى تعمل بهـا التقييمـات وكيفيـة استخدامها فى المواقف السياسية، وتبرهن على أن التقييمات الفعالة، بالإضـافة إلـى كونها مقبولة علميا، يمكن أن تعتبر أيضا شرعية فى العملية التى تقـوم بهـا وفـى مساهمتها، وينبغى أن تقدم نتائجها بمصطلحات بارزة بشكل كاف ومناسـبة لـصناع القرار.

William D. Ruckelshaus (1985). Risk, Science, and Democracy, *Issues in Science and Technology*, 1: 3, Spring 1985, pp. 19- 38.

يرى ركلشوس، مدير هيئة حماية البيئة فى الولايات المتحدة فى ظل حكم الرئيـسين نيكسون وريجان، أن السياسة البيئية الفعالة تعتمد على الحفاظ بـشكل كـاف علـى الفاصل بين العمليات ذات الأسس العلمية فى تقيـيم المخـاطر البيئيـة، والعمليـات السياسية أكثر فيما يتعلق باتخاذ القرار فيما يجب عمله بشأن المخاطر المؤسسة على أفضل المعارف العلمية المتاحة.

•

الفصل الثالث

تغير المناخ الناجم عن الإنسان
المعرفة العلمية الحالية والشكوك

تناول التمهيد العلمي في القسم ١-٢ الفيزياء الأساسية للمناخ وكيف نتوقع ارتفاع حرارة المناخ إذا تواصل انبعاث غازات البيوت الزجاجية في المناخ. يعمّق هذا الفصل المناقشة، ويفحص المعرفة العلمية الحالية عن التغيرات الملحوظة في مناخ الأرض، ومدى تأثير الإنسان في هذه التغيرات، والتغيرات المستقبلية المحتملة في المناخ. وعلى عكس الانطباع الذي يمكن أن يصلك من متابعة مناظرة في الأخبار، تطور بالفعل الفهم العلمي الحالي للمناخ وتنوعاته والتأثيرات فيه. ونطرح المسائل الحقيقة وأهمية تغير المناخ في أربعة أسئلة منفصلة ومحددة:

- هل المناخ يتغير؟
- هل أنشطة الإنسان مسئولة؟
- ما التغيرات الأخرى المحتملة في المناخ؟
- ما تأثيراتها؟

تراجع الأقسام من ٣-١ إلى ٣-٤ الأدلة المتوفرة وتلخص المعرفة العلمية الحالية في كل من هذه المسائل، بالإضافة إلى الشكوك والخلافات الأساسية. يراجع القسم ٣-٥ بعض المقولات الأوسع انتشارًا التى تتكرر النقاط الرئيسية في المعرفة العلمية الحالية عن تغير المناخ. وهذه المقولات، التى تنتشر غالبا في المنتديات غير علمية، يقدمها عادة من يعارضون العمل السياسى للحد من تغير المناخ، ويسمون أحيانا "بالمتشككين في تغير المناخ."

٣-١ هل المناخ يتغير؟

لتحديد إن كان المناخ يتغير، علينا التحلى بالدقة فيما نعنيه بكلمة "مناخ". نتذكر من الفصل الأول أن المناخ يصف أحوال الأرصاد فى المتوسط فى مكان ما فى الفترة الزمنية محل الاهتمام- على سبيل المثال الأحوال المتوسطة فى شهر نوفمبر فى واشنطون بين عام ١٩٧٠ وعام ١٩٩٠- فى مقابل الطقس فى أى يوم محدد. يشمل المناخ درجة الحرارة، كما يشمل عوامل أخرى مثل الرطوبة، وسقوط الأمطار، والسحب والرياح، الخ. ولا يشمل فقط متوسط قيم هذه العوامل، بل يشمل إحصاءات الاختلاف عن المتوسط. ربما تكون التغيرات في الاختلاف أو التطرف مثيرة للاهتمام في الحقيقة أكثر من التغيرات فى المتوسطات. على سبيل المثال، ربما نكون أكثر اهتمامًا بحدوث موجات متطرفة من الارتفاع فى درجات الحرارة من التغيرات فى متوسط درجة حرارة الصيف.

ورغم إمكانية أن يكون للتغيرات فى أية خاصية مناخية تأثيرات مهمة، فإننا نركز على درجة الحرارة لأنها الخاصية المناخية التى تتوفر له أفضل

البيانات، الخاصية التى له أقوى ارتباط نظرى بانبعاث غازات البيوت الزجاجية، والخاصية التى تؤدى بشكل أساسى إلى التغيرات الأخرى. توجد أدلة كثيرة على أن الخصائص الأخرى للمناخ، مثل أنماط الشبورة، تتغير أيضًا، لكننا لن نناقشها هنا. وينصبُّ تركيزنا على العقود القليلة الماضية إلى قرون قليلة، حين زادت أنشطة الإنسان من غازات البيوت الزجاجية في الغلاف الجوى. ونناقش بإيجاز التغيرات فى آخر ١٠٠ مليون سنة- ليس لأن البشر كان لهم تأثير عليها، بل لوضع التغيرات الحديثة فى سياقها.

أخيرًا، المكان الذى نبحث فى تغيراته هو متوسط درجة حرارة سطح الأرض كلها، فى المتوسط على مدار السنة كلها. ولا نفعل ذلك لأن هذا المتوسط العالمى يهم أى شخص- لا أحد يعيش فى المتوسط العالمى، والناس يهتمون أكثر بالتغيرات الخاصة حيث يعيشون- بل لأسباب عملية. المتوسط العالمى حيث يكون تحديد ميول درجة الحرارة أسهل ما يكون. يمكن أن تحدث أحداث المناخ، مثل موجات الجفاف الشديد أو موجات الحر، أو الميول قصيرة الأمد، بالصدفة فى مناطق معينة حتى فى مناخ لا يتغير، وهكذا إذا لم يكن التردد العام أو الشدة العامة لهذه الأحداث فى تزايد فإنها لا تقدم بالضرورة دليلا على تغير المناخ العالمى. النظر في المتوسط العالمى أكثر مصداقية لأن تلك التغيرات التى تحدث فى مناطق معينة على نطاق أضيق تميل إلى المتوسط.

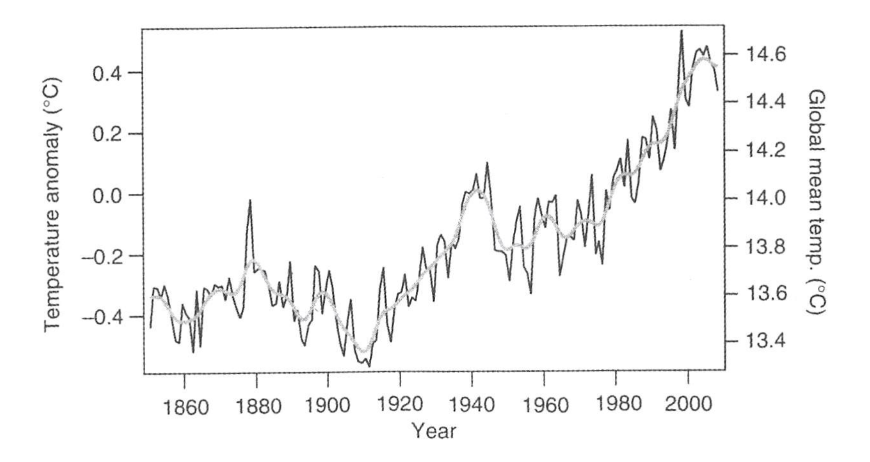
لتحديد إن كانت حرارة سطح الأرض ترتفع، نحتاج إلى مقاييس لدرجات الحرارة أو كميات ما مرتبطة بها على مدى فترة طويلة بشكل كاف لترسيخ ميل. وتوجد مصادر كثيرة متنوعة للبيانات المطلوبة التى يمكن

الاعتماد عليها، فى كل منها نقاط قوة ونقاط ضعف. ونراجع العديد من أكثر مصادر هذه البيانات أهمية، ونوضح أنها ترسم صورة متماسكة لارتفاع درجات الحرارة. وتقدم هذه المصادر، بوضعها معًا، دليلا قاطعا على أن درجة حرارة سطح الأرض ترتفع فى القرون القليلة الماضية، مع زيادة بشكل خاص فى آخر بضعة عقود من القرن العشرين.

٣-١-١ سجل ترمومتر السطح

أبسط طريقة لقياس درجة حرارة الأرض وضع ترمومترات- مثل الترمومترات البسيطة التى تعتمد على وضع سائل فى زجاجة مثل الترمومتر الذى ربما تضعه فى الرواق الخلفى- فى مواضع كثيرة حول العالم، وتسجيل درجة الحرارة فى كل موضع كل يوم. بجمع القراءات المأخوذة من كل مكان فى العالم، يمكنك وضع تصور لتقدير متوسط درجة حرارة سطح الأرض. كان الناس يسجلون هذه القراءات فى آلاف المواضع، على الأرض ومن السفن فى البحار، لمدة ١٥٠ سنة تقريبًا، ويوضح الشكل ٣-١ رسمًا بيانيًّا لهذه الدرجات. يوضح السجل أن متوسط درجة حرارة سطح الأرض من ١٩٠٦ إلى ٢٠٠٥ ارتفع ٠,٧٤ درجة مئوية. وقد حدثت معظم هذه الزيادة فى فترتين محددتين، من ١٩١٠ إلى ١٩٤٥ ومن ١٩٧٦ إلى الوقت الحالى، مع انخفاض طفيف فى درجات الحرارة بين هاتين الفترتين وعدد كبير من التذبذبات على مدار القرن. (يناقش القسم ٣-٢ أصل فترة البرودة والتذبذبات.) وكان العقدان الأخيران الأكثر حرارة منذ بدأ القياس منتصف

القرن التاسع عشر، وآخر ١١ سنة (من ١٩٩٧ إلى ٢٠٠٧) أعلى ١١ سنة حرارة فى السجل.



الشكل ٣-١ اختلافات المتوسط العالمى والسنوى لدرجة حرارة سطح الأرض (درجة مئوية) من ١٨٥٠ إلى ٢٠٠٧، مقيسًا مقارنة بالمتوسط بين عام ١٩٦١ وعام ١٩٩٠. يمثل الخط الأسود المتوسط السنوى، ويوضح الخط الرمادى التغيرات طويلة المدى.

المصدر: data from the HadCRUT3v data set, Hadley Centre for Climate Prediction and Research.

يوضح الشكل ٣-١ بيانيًا **اختلافات** متوسط درجة الحرارة وليس درجات الحرارة الفعلية. واختلاف درجة الحرارة هو الفرق بين درجة الحرارة الفعلية فى كل سنة ودرجة حرارة مرجعية. فى هذا الشكل، درجة الحرارة المرجعية متوسط درجة الحرارة بين ١٩٦١-١٩٩٠، وهى ١٤ درجة مئوية تقريبًا. ويوضح الشكل أن درجات الحرارة بين ١٨٦٠-١٩٢٠

كانت أقل ٠.٢-٠.٤ درجة مئوية من متوسط درجة الحرارة بين ١٩٦٠-١٩٩٠، وكانت درجات الحرارة فى آخر ١٠-٢٠ سنة أعلى ٠.٥ درجة من هذا المتوسط.

لماذا نوضح الاختلافات وليس قراءات درجات الحرارة الفعلية؟ السبب الرئيسى أن الكثير من مصادر البيانات المرتبطة بدرجات الحرارة، من قبيل بيانات نهر الجليد، الموصوفة فى القسم التالى، توضح فقط التغيرات عبر الزمن، وهى مكافئة لاختلافات درجات الحرارة، وليس درجات الحرارة بشكل مطلق. حتى لو استطعنا التعبير عن مجموعة بيانات معينة باعتبارها اختلافات بحيث يمكن مقارنة سجلات كل المصادر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تختلف درجات الحرارة المطلقة عبر مسافات قصيرة، مثل بين مدينة والمناطق الريفية القريبة منها، أو بين موضعين قريبين على ارتفاع مختلف. وتميل الاختلافات، مع ذلك، إلى الثبات عبر مسافات أطول، مما يجعل حساب الاختلافات أسهل ويتطلب شبكة مقاييس أقل كثافة.

تقدم سجلات ترمومتر السطح أقوى دليل على أن درجة حرارة الأرض ترتفع، والتقدير الأكثر دقة على مقدار ارتفاعها. لماذا تعتبر هذه المجموعة من البيانات عالية الجودة؟ السبب الرئيسى هو أنها المقاييس المباشرة أكثر من غيرها لدرجة حرارة الأرض. والطرق الأخرى لتحديد اتجاهات درجة حرارة الأرض مقاييس **غير مباشرة**. لا تقيس درجة حرارة السطح نفسه، لكنها تستنتجه من كميات أخرى مثل طول أنهار الجليد أو مدى جليد البحر. وبالنسبة لهذه المجموعات بين البيانات غير المباشرة، تحويل التغيرات فى الكمية الملاحظة إلى اتجاه لدرجة الحرارة يقدم شكًا إضافيا.

بالإضافة إلى ذلك، تمتد تكنولوجيا الترمومترات إلى مئات السنين. يضيف هذا النضج التكنولوجى ثقة هائلة بأن الاتجاه الملاحظ فى درجات الحرارة اتجاه حقيقى وليس نتيجة لعيب غير مكتشف فى جهاز القياس.

رغم قوة هذه المجموعة من البيانات، فإنها لا تزال تحمل بعض أوجه القصور. التاريخ الذى يمتد إلى ١٥٠ سنة من الملاحظات المستمرة مزية من بعض الأوجه، لكن التغيرات فى كيفية رصد الملاحظات يمكن أن تدخل أيضا بعض الأخطاء. لتوضيح كيفية حدوث هذا، تأمل محطة افتراضية لدرجة الحرارة تعمل من ١٨٦١ إلى الآن. فى ١٨٦١ كان يديرها فلاح يقرأ ترمومترا يعتمد على سائل فى زجاجة ويسجل درجة الحرارة يوميًا فى الظهر. وبينما كانت تكنولوجيا الترمومترات ناضجة فى ذلك الوقت، كانت هناك أخطاء عرَضية فى التسجيل، لأن مشاكل الجهاز (على سبيل المثال فقاعة فى الترمومتر)، أو لأن الفلاح لم يقرأ درجة الحرارة فى ذلك اليوم بشكل صحيح أو لم يسجلها بشكل صحيح. الأخطاء البسيطة من هذا القبيل غير مهمة بالنسبة لتقدير اتجاهات طويلة المدى، لأن من المحتمل أن تسير فى اتجاه كما تسير فى الاتجاه الآخر وبالتالى تكون فى المتوسط على المدى الطويل.

حين مات الفلاح فى ١٨٩٠ واصل ابنه قراءة درجات الحرارة يوميًا، لكنه كان يقرأها فى الثالثة بعد الظهر بدل أن يقرأها فى الظهر. حيث أن درجة الحرارة تكون أعلى عادة فى منتصف ما بعد الظهر، فإن درجات الحرارة فى هذه المحطة ترتفع فجأة. فى ١٩٠٢ احترق المخزن القريب من الترمومتر وانتقل الترمومتر إلى سفح باتجاه الجنوب يستقبل قدرا أكبر من

ضوء الشمس، ومن ثم ترتفع درجات الحرارة المسجلة مرة أخرى. على مدى السنوات الخمسين التالية، اتسعت المدينة المجاورة وامتدت حتى أحاطت بالحقل فى النهاية. المدن أكثر حرارة من المناطق الريفية المحيطة بها، لأن الطرق والمبانى أغمق من النباتات وبالتالى تمتص قدرا أكبر من ضوء الشمس- ظاهرة معروفة باسم "تأثير الجزر الحرارية المدنية"- وهكذا تسبب التمدد الحضرى فى ميل إضافى فى ارتفاع درجة الحرارة فى السجلات. هذه الأخطاء، على عكس الأخطاء البسيطة فى القراءة والتسجيل، يمكن أن تقدم اتجاهات زائفة فى تسجيل درجات الحرارة.

هذه الأنواع من الأخطاء معروفة جيدا، وتستخدم تقنيات متنوعة لتحديدها وتصويبها. يمكن تحديد التغيرات فى ممارسة الملاحظة مثل التغير فى وقت القياس من الظهر إلى الثالثة بعد الظهر أو تغيير موضع الترمومتر بالقفزات المفاجئة فى سجل محطة، ثم فحص سجلاتها لمعرفة ما تغير فى ذلك التاريخ. بمجرد تحديد السبب، يمكن ضبط السجلات السابقة للمحطة لحساب التغير فى ممارسات الملاحظة. يمكن تقدير حجم تأثير الجزر الحرارية المدنية بمقارنة محطة فى منطقة مدنية متنامية بمحطة ريفية قريبة. بينما يمكن أن يكون تأثير الجزر الحرارية المدنية مهمًّا فى تقدير الاتجاهات المحلية فى مناطق معينة، فإنه ليس عاملا رئيسيا فى الاتجاه العالمى فى الشكل ٣-١. تشكل المناطق الحضرية كسرا صغيرا من مساحة سطح الأرض، وبالتالى فإن الاتجاه المحسوب باستخدام المحطات الريفية وحدها مماثل تماما للمحسوب باستخدام كل محطات الملاحظة.

تتعلق المشكلة الأخيرة في تسجيل درجة حرارة السطح بالترمومتر بكيفية تغطية محطات الملاحظة لكل البقاع بصورة منتظمة لتغطية سطح الأرض. هذه التغطية هائلة، لكنها بعيدة عن الاكتمال. معظم المحطات موضوعة حيث يعيش الناس أو يسافرون، وهكذا فإن معظم القياس يتم على الأرض، في المناطق التي يوجد فيها الناس بكثافة. التغطية ضعيفة في المناطق القطبية، والصحراوات غير المأهولة، ومناطق المحيطات خارج المسارات الرئيسية للسفن. بالإضافة إلى ذلك، تغيرت التغطية عبر الزمن، خصوصا في المحيط. إذا كانت الأماكن التي أضيفت مجددًا أدفأ في المتوسط أو أبرد من المناطق التي تلاحظ من قبل، يمكن لهذا أيضًا أن يخلق ميلا زائفًا. كما يحدث مع التغيرات في ممارسات الملاحظة، يدرك العلماء هذه المشاكل وقد طوروا تقنيات لتحديد التغير القوي في متوسط درجة الحرارة من التغطية المتناثرة والمتغيرة، ولتقدير مدى الانحراف الذي ربما يبقى في التسجيل. على سبيل المثال، القياس الشامل لدرجة حرارة سطح البحر بالقمر الصناعي يمكن أن يوضح الأخطاء التي حدثت نتيجة التغطية المتناثرة لقياس درجة حرارة المحيطات والتوسع في تغطية المحيطات عبر الزمن.

سجل ترمومتر السطح هو مجموعة البيانات التاريخية الأكثر أهمية المستخدمة في دراسات تغير المناخ. تمت دراسات مجموعة البيانات بتوسع، والأخطاء المحتملة فيها معروفة جيدًا ومفهومة جيدًا، وتم ضبطها حيث تطلب الأمر تصويب هذه الأخطاء. لكن يبقى بعض الشك، وينعكس هذا في تقدير مشكوك فيه بمقدار ٠.١٨ درجة مئوية زيادة أو نقصًا في الميل

لارتفاع درجة الحرارة خلال ١٠٠ سنة بمقدار ٠.٧٤ درجة مئوية بين عام ١٩٠٦ وعام ٢٠٠٥.

ورغم كل ما تتمتع به هذه السجلات من قوة، فإن استنتاج أن درجة حرارة الأرض ترتفع لا يعتمد على هذه السجلات وحدها. وكما أكد الفصل الثانى، يجب تمحيص المقولات العلمية التى على هذه الدرجة من الأهمية، بشكل نموذجى بطرق عديدة مستقلة، قبل قبولها على نطاق واسع. يناقش بقية هذا القسم البيانات الأخرى التى تقدم تقديرات مستقلة لكيفية ارتفاع درجة حرارة الأرض.

٣-١-٢ سجلات نهر الجليد

فى المناطق الباردة، كما بالقرب من القطبين أو عند المرتفعات العالية فى الجبال، لا يذوب كل الجليد الذى يتساقط فى الشتاء بحلول الصيف التالى. فى ظل الظروف المناسبة، يمكن أن يتراكم الجليد بسمك هائل على مدار السنين، ضاغطا تحت وزنه ليشكل لوحًا من الجليد يعرف باسم نهر الجليد. يغطى نهر الجليد ١٠% تقريبًا من مساحة اليابسة على الأرض، معظمه فى القطب الجنوبى وجرينلند، ويحتوى على الغالبية العظمى من الماء العذب فى العالم.

تقدم التغيرات فى حجم نهر جليد مقياسًا جيدًا للتغيرات الموضعية فى درجة الحرارة. يزيد الارتفاع الموضعى فى الحرارة الذوبان عموما ويجعل نهر الجليد يتقلص أو يتراجع، بينما يجعله الانخفاض الموضعى فى الحرارة ينمو أو يتقدم. تم قياس الكثير من أنهار الجليد على مدى مئات السنين، ومن

ثم يقدم النظر فى أنهار الجليد فى كل أرجاء الأرض بيانات عن التغيرات فى درجة حرارة العالم.

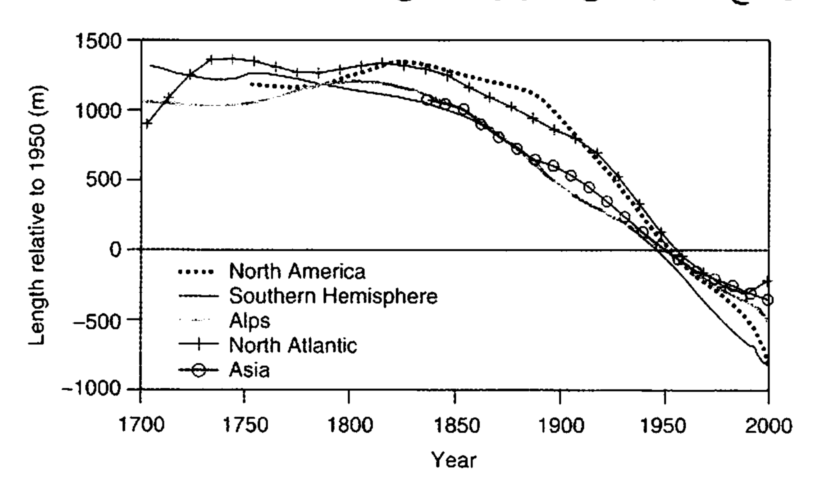
توضح السجلات التاريخية نمطًا واضحًا لتراجع أنهار الجليد. من بين ٣٦ من أنهار لجليد تم تتبعها بين ١٨٦٠-١٩٠٠، تقدم نهر واحد فقط وتراجع ٣٥ نهرًا. ومن بين ١٤٤ تم تتبعها بين ١٩٠٠-١٩٨٠، تقدم اثنان وتراجع ١٤٢. يوضح الشكل ٣-٢ تغيرات طول نهر الجليد منذ ١٧٠٠ فى خمس مناطق عبر العالم. ويوضح أن أنهار الجليد بدأت تتراجع حوالى ١٨٠٠، مع تسارع التقلص فيما بعد فى القرن التاسع عشر. نمط تراجع نهر الجليد فى القرن الماضى أو نحو ذلك متماسك فى كل أرجاء العالم، وتظهر المناطق الخمس كلها ميولا متماثلة.

ارتفاع الحرارة هو التفسير الأكثر وضوحًا لهذا التراجع عبر العالم، لكن يجب وضع تفسيرات أخرى محتملة فى الاعتبار. التوازن بين تراكم الجليد وذوبانه، الذى يحدد أساسًا تمدد نهر الجليد أو تراجعه، يمكن أن يتغير أيضًا بنقص سقوط الجليد، أو بنقص فى السُحُب مما يسمح بمرور مزيد من أشعة الشمس لتسقط على نهر الجليد. يمكن أن تحسب نماذج ديناميكيات أنهار الجليد، تسمى "نماذج التوازن العام"، التغيرات المتوقعة فى طول نهر الجليد من كل من هذه العوامل.

بالنسبة لنهر جليد نموذجى فى منطقة متوسطة، تجد هذه النماذج أن الأمر يتطلب نقصًا بمعدل ٣٠% فى السحب أو بمعدل ٢٥% فى سقوط الجليد سنويا لحدوث التراجع نفسه الذى ينتج عن ارتفاع فى الحرارة بدرجة مئوية واحدة. يمكن أن تحدث هذه التغيرات الهائلة فى سقوط الجليد أو غطاء

السحب موضعيا أو فى منطقة معينة، لكن الميول العالمية لهذا التغير الهائل على مدار قرن غير محتملة إلى حد بعيد ولم تلاحظ. لهذا السبب يعتبر علماء أنهار الجليد أن الميل لارتفاع الحرارة هو السبب الرئيسى للتراجع الملحوظ فى أنهار الجليد. بالإضافة إلى ذلك، يتواءم ارتفاع الحرارة المحسوب من التراجع الملحوظ مع الارتفاع الملحوظ فى سجلات ترمومترات السطح، مما يقدم تصديقًا مستقلا للميل لارتفاع الحرارة.

وتمثل التغطية أحد أوجه قصور بيانات نهر الجليد. تحدث أنهار الجليد فى المناطق الباردة فقط، وهكذا لا يحكى ميل درجة الحرارة محسوبًا من تراجع أنهار الجليد- رغم التواؤم مع ميل الترمومترات العالمية- إلا جزءًا من القصة. ونرى فيما يلى، مع ذلك، أن البيانات الأخرى التى تغطى مناطق مختلفة تقدم تأكيدا مماثلا للميول إلى ارتفاعٍ الحرارة، ومن ثم تقوى الثقة فى أن الارتفاع الملحوظ فى الحرارة عالمى حقا.



الشكل ٣-٢ التغير فى متوسط طول نهر الجليد عبر الزمن، مقيسًا مقارنة بطوله فى عام ١٩٥٠، بالنسبة لخمس مناطق فى العالم.

المصدر: after Fig. 4.13 of IPCC (2007a)

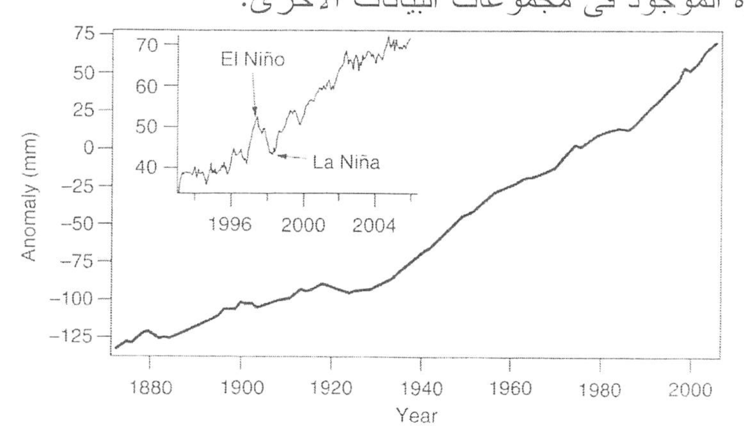
٣-١-٣ مستوى سطح البحر

حين ترتفع حرارة المناخ، يرتفع مستوى سطح البحر لسببين. الأول: مثل معظم المواد، يتمدد الماء حين ترتفع حرارته، وهكذا فإن ارتفاع الحرارة يزيد من حجم المياه فى المحيطات. الثانى: حين يذيب ارتفاع الحرارة أنهار الجليد أو أى جليد آخر على الأرض، فإن الماء الذى يذوب يتدفق إلى المحيطات ويزيد من مستوى سطحها أكثر. (لا يغير ذوبان جليد البحر من مستوى البحر، لأن الجليد يطفو.) يحدث التأثير العكسى فى العصور الجليدية. فى ذروة العصر الجليدى الأخير، الحجم الهائل للمياه التى تم تخزينها فى الألواح الجليدية القارية خفضت مستوى البحر ١٢٠ مترا تحت المستوى الحالى.

يمكن أن تؤثر أيضًا عمليات غير مناخية على مستوى البحر، معقّدة محاولات تفسير ميل الحرارة من بيانات مستوى سطح البحر. على سبيل المثال، غرق أرض شاطئية يمكن أن يجعل المستوى الموضعى للبحر يبدو أنه يترفع، حتى لو كان المستوى المطلق للبحر ثابتًا. مثل هذا الغرق يمكن أن ينشأ عن حركات طبيعية بطيئة لقشرة الأرض، أو عن أنشطة إنسانية مثل سحب المياه الجوفية. لدينا معرفة جيدة بأماكن حدوث هذا الغرق، مع ذلك، وضبط هذا فى تفسير المقاييس الموضعية لمستوى البحر لحساب متوسط عالمى، كما فى الشكل ٣-٣.

يوضح الشكل ٣-٣ الميول المتوسط العلمى لمستوى البحر منذ أواخر القرن التاسع عشر، محسوبا من اتحاد قياس المد والجزر والقياس بالقمر

الصناعى. على مدار القرن العشرين، كان معدل الزيادة ١,٥ مم فى السنة، أو ١٥ سم على مدار القرن. توحى التسجيلات القليلة التى تعود إلى القرن التاسع عشر بأن مستوى البحر ارتفع فى القرن العشرين أسرع من القرن التاسع عشر. على مدار العقود الحديثة، زاد معدل الارتفاع. فى آخر ٤٠ سنة، كانت الزيادة حوالى ١,٨ مم فى السنة، وكان التمدد الحرارى منها حوالى الربع (٠,٤٢ مم فى السنة). فى بيانات آخر عشر سنوات، من ١٩٩٣ إلى ٢٠٠٣، كانت الزيادة ٣,١ مم فى السنة، ويمثل التمدد الحرارى النصف تقريبًا (١,٦ مم فى السنة)، ويمثل ذوبان جليد الأرض ما تبقى. وتوضح دراسات العمليات الفردية التى تستنبط ارتفاع مستوى البحر أن التغيرات الملحوظة فى مستوى البحر متوائمة مع المعدل الملحوظ لارتفاع الحرارة الموجود فى مجموعات البيانات الأخرى.



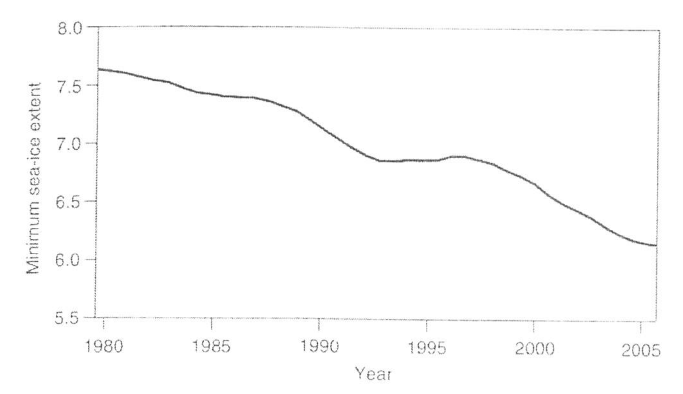
الشكل ٣-٣ المتوسط العالمى والسنوى فى اختلاف مستوى البحر، مقيسًا مقارنة بالمستوى ١٩٦١-١٩٩٠ وتم تبسيطه ليوضح التغيرات عبر العقود. يوضح الرسم المدرج فى الشكل صورة مقربة للاختلافات غير المبسطة من ١٩٩٣ إلى ٢٠٠٦.

المصدر: معدل عن Figures SPM.3 and 5.14 of IPCC (2007a)

كما هو الحال مع كل مجموعات البيانات الأخرى، توجد شكوك حول هذه المجموعة. على سبيل المثال، هناك احتمال أن التغير فى كمية الماء المخزونة فى الأرض فى أشكال غير الجليد، مثل البحيرات والطبقات الصخرية المائية، ربما يساهم أيضًا فى تغيرات مستوى البحر. ورغم أن التقديرات الكمية لمساهمة هذه المصادر مشكوك فيها تمامًا، فمن المحتمل أنها لا تشكل مساهمة مهمة فى الميل الملحوظ لمستوى البحر.

٣-١-٤ جليد البحر

فى درجات الحرارة الباردة فى المناطق القطبية، يتجمد ماء البحر ليكون طبقة من الجليد على سطح المحيط، ويكون سمكها عادة بضعة أمتار. تختلف المنطقة المغطاة بجليد البحر على مدار العام، وتصل إلى أقصى حد فى أواخر الشتاء وإلى أدنى حد فى أواخر الصيف.



الشكل ٣-٤ المقاييس بالقمر الصناعى للحد الأدنى من امتداد جليد البحر فى القطب الشمالى (ملايين كم^{2})، مبسطة لتوضيح التغيرات على مدار العقود.

المصدر: Fig. 4.9, IPCC (2007a)

إذا وضعنا فى الاعتبار الارتفاع السريع الذى يحدث فى الحرارة الآن، ربما نتوقع أن نرى تغيرات فى جليد البحر- ونرى بالفعل. يوضح الشكل ٣-٤ منطقة من جليد البحر فى القطب الشمالى، مقيسة فى أدنى حد لها فى أواخر الصيف، على مدار العقود الثلاثة الأخيرة. يوجد ميل واضح للانحدار، مع تقلص فى المنطقة المغطاة بالجليد بمقدار ١.٥ مليون كم٢ بين أواخر سبعينيات القرن العشرين وعام ٢٠٠٥، متوسط تقلص بمقدار ٧.٤% فى العقد. فى صيف ٢٠٠٧، ذاب قدر هائل من الجليد بحيث فتح ممر خال من الجليد بين المحيط الأطلنطى والمحيط الهادى خلال جزر القطب الشمالى شمال كندا. يوضح التقلص فى المساحة المغطاة بجليد البحر محسوبًا فى المتوسط على مدار العام كله، مقارنة بالحد الأدنى فى الصيف، معدلا أصغر من الفقد يبلغ ٢.٧% فى العقد.

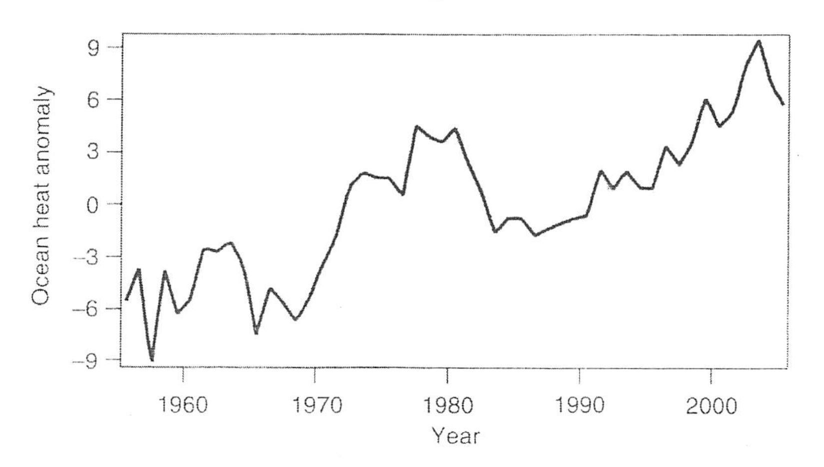
بالإضافة إلى التقلص فى المساحة، يقل سمك جليد البحر. توضح المقاييس من مناطق تحت البحر أن من ١٩٨٧ إلى ١٩٩٧، نقص سمك جليد البحر فى مركز القطب الشمالى بما يصل إلى متر- نقص بمقدار ثلث متوسط السمك تقريبًا. تقدم هذه المقاييس لجليد البحر، معا، تأكيدًا قويا لارتفاع درجة الحرارة فى منطقة القطب الشمالى مقيسة بشبكة من ترمومترات السطح.

القطب الجنوبى قصة أخرى. بقيت مساحة جليد البحر حول هذه القارة ثابتة منذ منتصف سبعينيات القرن العشرين. ومن غير الواضح إن كان هذا يتواءم أو لا يتواءم مع درجات الحرارة فى القطب الجنوبى- بيانات شحيحة

وغير مؤكدة لا تقدم صورة واضحة عما إذا كان القطب الجنوبى قد ارتفعت حرارته أم لا على مدار العقود القليلة الأخيرة.

٣-١-٥ المحتوى الحرارى للمحيط

أحد أكثر النبوءات ثقة فيما يتعلق بنظرية ارتفاع حرارة العالم أن معظم الطاقة التى تحبس فى الغلاف الجوى بواسطة غازات البيوت الزجاجية تنتهى إلى تسخين المحيط. لاختبار هذه النبوءة أجريت ملايين من صور مقاييس درجة حرارة المحيط لحساب التغيرات فى المحتوى الحرارى للمحيطات. يوضح الشكل ٣-٥ نتائج هذا الحساب. وبينما توجد اختلافات قوية عبر السنوات والعقود، من الواضح أن الطبقة العليا من المحيطات تتعرض لميل طويل المدى فى ارتفاع الحرارة.



الشكل ٣-٥ اختلاف المحتوى الحرارى (الوحدة 10^{22} J) بالنسبة لأعلى ٧٠٠م من المحيط مقيسة بالنسبة لمتوسط ١٩٦١-١٩٩٠.

المصدر: بتصرف عن Fig. 5.1, IPCC (2007a)

٣-١-٦ قياس درجات الحرارة بالقمر الصناعى

منذ ١٩٧٩، قدمت الأقمار الصناعية الخاصة بالطقس، مصدرًا جديدًا ومستقلا للبيانات عن درجات الحرارة العالمية. يقيس جهاز خاص فى القمر الصناعى. وحدة الاستطلاع بالميكروويف، إشعاع الميكروويف المنبعث من الغلاف الجوى. ومنه يمكن حساب متوسط درجة الحرارة علـــى مرتفعـــات مختلفة فى الغلاف الجوى. ولبيانات القمر الصناعى، بوصفها مقياسً لمتوسط درجة الحرارة فى العالم، مزية هائلة بتغطيتها لكل بقاع الأرض، بما فى ذلك المحيطات والمناطـــق غيـــر المأهـــولة، وليس هناك خطر التغطية الجزئية أو المنحازة.

لكن هذه البيانات أيضا تعانى من قصور خطير. لا تغطى السجـــلات إلا ثلاثة عقود تقريبا، وهى فترة قصيرة بالنسبة لتقدير الميول. بالإضافة إلى ذلك، السجلات ملتحمة معًا من بيانات تتجمع بدستة من الأقمار الـــصناعية تقريبًا، كل منها لا يمكث إلا بضع سنوات قبل أن يفشل ويحل محله القمـــر الذى يليه. ولأن جهازا واحدا يعمل فى أى وقت محـــدد، يمكـــن أن تـــؤدى المشاكل فى هذا الجهاز إلى أخطاء كبيرة فى الميول المستنبطة. وهذا يمثـــل تناقضًا حادًّا مع سجلات ترمومترات السطح وفيها تؤخذ المقاييس من آلاف الترمومترات يوميًا. سيكون للمشاكل فى أى ترمومتر تأثير لا يـــذكر علـــى الميل طويل المدى.

وهذا أيضا يجعل تقدير ميل درجة الحرارة بالغ الحساسية للطريقة التى تتم بها المعايرة للتسجيلات من الأقمار الصناعية المتتابعة. لفهم هذا. افترض

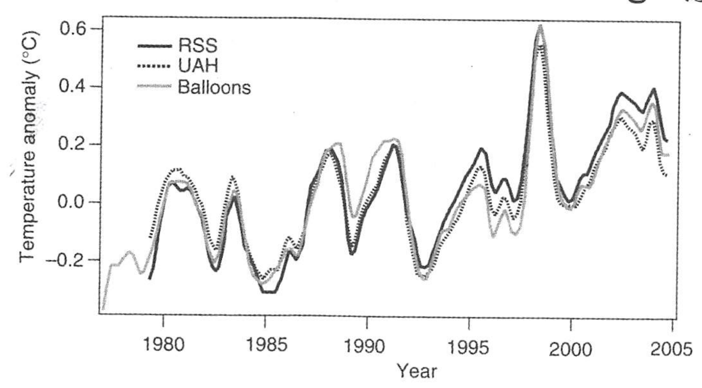
أنك تحاول أن تراقب وزنك، لكن ميزانك ينكسر وينقضى شهر قبل أن تشترى ميزانا جديدا، إذا كانت قراءة الميزان الجديد توضح أن وزنك زاد رطلين عن آخر قراءة على الميزان القديم، هل يعنى هذا أن وزنك زاد رطلين؟ أم أن الأمر لا يتعدى أن قراءة الميزان الجديد تزيد رطلين عن قراءة الميزان القديم؟ يمكنك أن تعرف أية حالة من الاثنتين هى الصحيحة لو أنك كنت قد اشتريت الميزان الجديد قبل كسر الميزان القديم، ووزنت نفسك على الميزانين كليهما لبعض الوقت لتقدير الفرق بينهما- إذا كان لديك البصيرة والصبر والمال للقيام بهذا. تحاول هيئة الأرصاد، التى تدير هذه الأقمار الصناعية، القيام بذلك، بإطلاق كل قمر صناعى جديد والقمر السابق لا يزال يعمل وبالتالى توفر تداخلا فى المقاييس لفترة كافية لمعايرة الجهاز الجديد. لكن حيث يستحيل أن نتنبأ بالضبط بموعد عطب جهاز ما، لم ينجحوا بشكل مطلق فى الحصول على تسجيلات متداخلة لوقت كاف. ونتيجة لذلك، فإن ميل درجات الحرارة مقدرا من بيانات القمر الصناعى حساس تمامًا لكيفية الربط بين البيانات التى يتم الحصول عليها من هذه الأقمار.

مشكلة هذه المعايرة البينية مجرد مشكلة من مشاكل عديدة صعبة فى تسجيل الأقمار الصناعية. التغيرات الدقيقة فى مدارات الأقمار الصناعية وانحراف معايرة الأجهزة الحساسة فى الأقمار الصناعية يمكن أن تؤدى إلى أخطاء أكبر بكثير من الميل الفعلى. وهذه المشاكل ليست قضية بالنسبة لسجل ترمومترات السطح، التى تستخدم تكنولوجيا مضى عليها قرون للقيام بالقياس.

ثمة أمر أخير يتعلق بتسجيل درجات الحرارة بواسطة الأقمار الصناعية وهى أنها لا تقيس درجة الحرارة عند سطح الأرض، بل تقيس متوسط درجة حرارة طبقة سميكة جدا من الغلاف الجوى. مقياس القمر الصناعى المقتبس على أوسع نطاق هو متوسط درجة حرارة التربوسفير السفلى، التى تمتد من السطح إلى ارتفاع يبلغ حوالى ٨ كم (بشكل تقريبى حيث تحلق الطائرات التجارية). الميول فى هذه الطبقة من الغلاف الجوى لا تقارن بالضرورة بشكل مباشر بالميول فى سجل السطح.

يوضح الشكل ٣-٦ الاختلافات فى متوسط درجة الحرارة فى التربوسفير السفلى مقيسة من سجل القمر الصناعى بواسطة مجموعتين مستقلتين من العلماء. ويوضح أيضًا اختلاف درجة الحرارة بالنسبة للمدى نفسه من المرتفعات، مقيسًا من بالونات الطقس. وتوضح مجموعات البيانات الثلاثة كلها ميلا مماثلا لارتفاع الحرارة بالإضافة إلى الاختلاف نفسه من سنة لأخرى، والتى تنتج أساسًا من الاختلافات الداخلية مثل النينو (انظر الصندوق التالى). بالنسبة للفترة من ١٩٧٩ إلى ٢٠٠٤، تسحب مجموعة جامعة الاباما فى هانتسفيل (UAH) الميل لارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٠,١٢ ± ٠,٠٨ درجة مئوية فى العقد، بينما تحسبه مجموعة RSS بمقدار ٠,١٩ ± ٠,٠٨ درجة مئوية فى العقد. تستخدم هاتان المجموعتان البيانات الخام نفسها من أجهزة القمر الصناعى MSU، ومن ثم فإن الاختلاف فى الميول المحسوبة يأتى بشكل كامل من الفرضيات بشأن التفاصيل التقنية المتعلقة بالحساب، بما فى ذلك المعايرة بين الأقمار الصناعية. على مدار الفترة نفسها (١٩٧٩-٢٠٠٤)، توضح مقاييس البالونات ميلا بمقدار ٠,١٤ ± ٠,٠٧ درجة مئوية فى العقد، بينما على مدار الفترة كلها التى تتوفر فيها

مقاييس البالونات (١٩٥٨-٢٠٠٤)، يكـون الميـل بمقـدار ٠,١٦ ± ٠,٠٤ درجة مئوية فى العقد.



الشكل ٣-٦ سلسلة زمنية للمتوسط العام فى اختلاف درجات الحرارة فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى، مقيسة مقارنة بالمتوسط بين عام ١٩٧٩ وعام ١٩٩٧. RSS اختصار أنظمة استطلاع عن بعد، UAH اختصار جامعة ألاباما فى هانتسفيل. يوضح الخط الرمادى مقاييس الترمومترات المحمولة فى بالونات من مركز هادلى Hadley Centre (HadAT2 data).

المصدر: Fig. 3.3a of CCSP (2006)

توضح كل هذه التسجيلات الثلاثة لميول درجات الحرارة فى الجزء السفلى من الغلاف الجوى، ارتفاعا فى درجة الحرارة على مدار العقود الثلاثة الأخيرة، وتتفق مع بعضها البعض فى الشكوك. كانت هناك فيما مضى اختلافات أكبر بين سجلات الأقمار الصناعية وسجلات السطح، وكانت تستخدم أحياناً لإنكار حقيقة الميل لارتفاع درجات الحرارة كما تسجله ترمومترات السطح. ومع ذلك فإن التحسين المتكرر فى التسجيلات جعل الاختلافات المتبقية فى ميول درجات الحرارة العالمية صغيرة نسبيا. لا تزال الاختلافات موجودة فى مناطق مرتفعة وخطوط عرض معينة، وتفسير هذه البيانات وتقليصها منطقة نشطة فى البحث العلمى الحالى. لكن هذه المقاييس

للغلاف الجوى، على المستوى العالمى، متوائمة عموما مع بعضها البعض، ومــع ميــل ترمومتــرات السطح بمقدار ٠.١-٠.٢ فى العقد على مدار الفترة نفسها.

ما النينو؟

بعض التغيرات من سنة إلى سنة فى المتوسط العالمى لسجل درجات الحرارة، مثل الذبذبات الكبيرة فى الشكل ٣-٦ وفى الخط المذبذب فى الشكل ٣-١، تأتى من أنماط معروفة من تنوع المناخ يحدث على مدار فترات من بضع سنوات إلى بضعة عقود. بالطبع، النينو هو الأكثر أهمية، شكل من تذبذب الغلاف الجوى على نطاق كبير يسمى بشكل أكثر عمومية التذبذب الجنوبى. التذبذب الجنوبى هو ارتجاج سطح الماء الدافئ ذهابا وإيابا عبر المحيط الهادئ فى المنطقة الاستوائية كل بضع سنوات. للتذبذب الجنوبى مرحلتان، تسميــان النينو ولانينا La Niña، كــل منهما تستغــرق عــامًا أو اثنين. بالإضافة إلى ذلك، يمكث التذبذب أحيانًا فى مرحلة حيادية بين هاتين الحالتين.

فى المرحلة الحيادية، تهب الرياح التجارية الاستوائية إلى الغرب دافعة المياه الاستوائية الدافئة فى غرب المحيط الهادى، مسببة دفع المياه الباردة بعيدا عن الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية. أثناء النينو، تهدأ الرياح التجارية، وتتحرك المياه الدافئة باتجاه الشرق لتملأ الحوض الاستوائى من المحيط الهادى برمته. وتمتد التغيرات المرتبطة بذلك فى درجة الحرارة وهطول الأمطار عبر العالم. ويرتفع متوسط درجة حرارة الأرض. يوضح نينو

١٩٩٨ حجم هذا التأثير. وكان الأقوى فى القرن العشرين. يوضح الشكل ٣-١ والشكل ٣-٦ كيف أن متوسط درجات الحرارة العالمية فى تلك السنة كان أدفأ بعدة أعشار عن السنة السابقة والسنة التالية. وأدى ارتفاع درجات الحرارة فى تلك السنة أيضًا إلى تمدد المحيط، مما أدى إلى اندفاع فى مستوى البحر يمكن رؤيته فى الشكل المدرج فى ٣-٣.

فى مرحلة اللانينا، تقوى الرياح التجارية، دافعة المياه الباردة إلى الغرب لتملأ معظم الجزء الاستوائى من المحيط الهادى. ويؤدى هذا أيضا إلى تغيرات فى كل أرجاء العالم فى درجة الحرارة وهطول الأمطار عكس تلك التى ترى أثناء النينو، بما فى ذلك انخفاض متوسط درجة حرارة الأرض وهبوط فى مستوى البحر- كما يمكن أن يرى ذلك فى الشكلين نفسيهما المذكورين سابقًا أثناء لانينا ١٩٩٩.

٣-١-٧ وكلاء المناخ

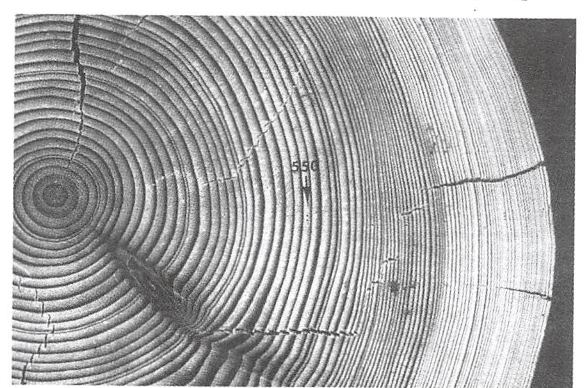
تشمل كل السجلات التى تناقش إلى حد بعيد مقاييس درجة الحرارة، أو شيئًا يرتبط بدرجة الحرارة، فى زمن حقيقى. يقدم كل مصدر من مصادر البيانات بعض المعلومات عن المناخ، لكن ذلك يرجع فقط إلى زمن القياس. فى أفضل الأحوال، تقدم هذه المصادر معلومات ترجع إلى بضع مئات من السنين، ومعظمها يغطى إلى حد كبير الفترة الأكثر حداثة.

ثمة نوع آخر من المعلومات عن حالات المناخ فى الماضى تقدمها سجلات **وكلاء المناخ**. وكيل المناخ سجل عن المناخ فى الماضى مطبوع على نظام فيزيائى أو كيميائى أو بيولوجى طويل المدى. يمكن أن يرجع

مختلف الوكـــلاء، اعتمادا على العمر، بسجلات المناخ إلى مئات السنوات، أو آلاف السنوات، أو حتى ملايين السنوات فى الماضى. يناقش هذا القسم وكلاء المناخ الأكثر أهمية والأوسع انتشارًا، وما تخبرنا به عن تنوع المناخ فى الماضى.

حلقات الأشجار

يتبع نمو الأشجار دورة سنوية، تطبع فى حلقات فى جذوع الأشجار. والأشجار تنمو سريعًا فى الربيع، تنتج خشبا باهتا؛ وحين يتباطأ نموها فى الخريف، تنتج خشبا قاتما. يوضح الشكل ٣-٧ قطاعًا عرضيًّا فى جذع شجرة وحلقاتها. لأن الأشجار تنمو أكثر، وتنتج حلقات أوسع، فى السنوات الدافئة، فإن عرض كل حلقة يعطى معلومات عن ظروف المناخ حول الشجرة فى تلك السنة. يمكن أن تقدم حلقات شجرة تعمِّر طويلا بيانات عن درجة الحرارة ترجع إلى مئات السنوات.



الشكل ٣-٧ قطاع عرضى فى شجرة، يوضح حلقاتها. لاحظ كيف أن الحلقات تختلف فى حجمها وكثافتها. بإذن من the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona.

مفتاح استخدام حلقات الأشجار باعتبارها وكيلا للمناخ هو العثور على علاقة كمية بين عرض الدائرة ودرجة الحرارة فى موضع الشجرة. ويتم هذا بفحص حلقات من سنوات حديثة تتوفر فيها سجلات الترمومترات أيضا. ويتم تقدير العلاقة بين عرض الحلقة ودرجة الحرارة بالنسبة لهذه الفترة، التى يمكن استخدامها لتقدير درجة الحرارة بالنسبة لذلك الجزء من حياة الشجرة قبل قياس درجة الحرارة بشكل مباشر.

توجد بعض الصعوبات فى استخدام حلقات الأشجار باعتبارها وكيلا للمناخ. الأولى: من الصعب فصل تأثير درجة الحرارة على نمو الأشجار عن بقية متغيرات المناخ مثل هطول المطر. ويتم معالجة ذلك عمومًا باختيار أشجار فى مناطق حيث كانت تنمو الأشجار، بالنسبة للقرن الماضى أو نحو ذلك، استجابة أساسية لدرجة الحرارة وغير حساس لسقوط الأمطار.

الثانية: تفترض سجلات درجات الحرارة التى يعاد تنظيمها أن العلاقة بين عرض الحلقة ودرجة الحرارة مقدرة من الماضى القريب تنطبق على حياة الشجرة كلها. أخيرًا، مثل الكثير من مصادر البيانات نضع فى الاعتبار أن عمليات إعادة تنظيم حلقات الأشجار متوفرة فى جزء ضئيل من سطح الأرض. من الواضح أنها لا تتوفر فى المحيطات، أو فى الصحراوات أو فى المناطق الجبلية حيث لا تنمو الأشجار. ولا تتوفر أيضا فى المناطق المدارية، حيث تجعل الدورة الموسمية الضعيفة الأشجار تنمو فى دورة سنوية، وبالتالى لا تنتج حلقات.

لب الجليد

ناقشنا من قبل كيف أن تقدم أنهار الجليد فى الجبال أو تراجعها يقدم معلومات عن تغيرات درجات الحرارة على مدار القرون القليلة الماضية. بالإضافة إلى ذلك، تقدم الخصائص الكيميائية والفيزيائية لجليد أنهار الجليد مخزناً ثريا بالمعلومات عن الظروف وقت سقوط الجليد. التركيب الكيميائى للجليد، مثل أجزاء ضئيلة من النظائر الثقيلة[١] للهيدروجين والأكسجين، يمكن أن تستخدم لاستنباط درجة حرارة الهواء حول نهر الجليد عند سقوط الجليد، كما يمكن استخدام الاختلافات فى أحجام بلورات الجليد واتجاهها. الفقاعات الصغيرة من الهواء التى تحبس عند تكوُّن جليد نهر الجليد تحتفظ بلقطة عن التكوين الكيميائى للغلاف الجوى فى تلك اللحظة. بالإضافة إلى ذلك، يعطى الغبار الذى يدفن فى الجليد معلومات عن سرعة الرياح السائدة واتجاهها، وعن رطوبة المناخ أو جفافه فى تلك المنطقة عند تكوُّن الجليد، لأن قدرا كبيرا من الغبار يهب أثناء فترات الجفاف. وأخيراً، حيث أن الكبريت من مقذوفات البراكين، يمكن أن يوضح قياس حمض الكبريت فى أنهار الجليد إن كان هناك انفجار بركانى هائل وقت تكوُّن الجليد.

يسترجع الباحثون سلسلة زمنية لكل هذه المعلومات بالثقب فى الغلاف الجليدى بمثقاب مجوف حاد وإزالة عمود طويل من الجليد، قطره بضع بوصات، يسمى لب الجليد. كلما كان الجليد أكثر عمقاً، كان ترسب الجليد أقدم، وقدم لنا معلومات عن المناخ أكثر عن زمن أقدم.

---

(١) النظائر أشكال مختلفة من الذرات تختلف فى عدد النيترونات فى النواة. للجزيئات التى تحتوى على نظائر مختلفة خواص كيميائية وفيزيائية مختلفة بعض الشىء.

تتطلب إعادة تنظيم معلومات عن المناخ فى أزمنة سابقة من لب جليدى خطوتين. الأولى: يجب تحديد عمر كل طبقة من طبقات الجليد من عمقها داخل نهر الجليد. وقد بذلت جهود هائلة لحل هذه المشكلة، لأن معدل تراكم الجليد يختلف عبر الزمن ولأن الجليد داخل نهر الجليد يمكن أن يُضغط ويتدفق تحت الوزن الهائل للجليد الذى فوقه. الثانية: يجب تحويل الخصائص التى تلاحظ بالفعل، من قبيل وفرة النظائر الثقيلة للهيدروجين، إلى الخصائص المناخية التى موضع الاهتمام، وهى، فى هذه الحالة، درجة الحرارة. قدم لب الجليد من الغلاف الجليدى الأكثر سمكا والأقدم فى القارة القطبية الجنوبية وجرينلند إعادة تنظيم للمناخ يرجع بشكل يثير الدهشة إلى ٨٠٠٠٠٠ سنة.

الشعب المرجانية

الشعب المرجانية حيوانات بحرية صغيرة تعيش فى مستعمرات مثبتة فى سلاسل صخرية فى مياه المحيطات الدافئة، فى المناطق الاستوائية غالبًا. يمكن أن يكون عمر السلاسل الصخرية، المكونة من هياكل عظمية لأجيال سابقة من المرجان، آلاف السنين. تشبه إلى حد بعيد حلقات الأشجار. تنمو الهياكل المرجانية باتجاه الخارج فى مجموعات يمكن تحديد تاريخها. يمكن للتكوين الكيميائى للسلاسل الصخرية أن يقدم معلومات عن المناخ وظروف المحيطات فى العصور السابقة، بما فى ذلك درجة حرارة المحيط، وسقوط الأمطار، والملوحة، ومستوى البحر، والأحداث الناجمة عن العواصف، وحجم تدفق المياه العذبة القريبة. ويتطلب الحصول على المعلومات من

الشعب المرجانية عن المناخ فى الماضى عملية مماثلة لتلك المستخدمة فى لب الجليد. يستخدم مثقاب للحصول على عمود من المادة المرجانية. ثم يتم تحديد التاريخ الدقيق لكل طبقة مرجانية. أخيرًا، يقاس التكوين الكيميائى للمرجان لتقديم لقطة عن الظروف المحيطة بالشعب المرجانية فى ذلك الوقت.

رواسب المحيطات

تتراكم بلايين الأطنان من الرواسب فى قاع المحيط كل عام. مثل لب الجليد، تحتوى هذه الرواسب معلومات عن أحوال المناخ فى الوقت الذى ترسبت فيه. يأتى أهم مصدر للمعلومات فى الرواسب من الهياكل العظمية لكائنات بحرية صغيرة. وتعطى الوفرة النسبية للأنواع التى تنمو بوفرة فى المياه الأكثر دفئا مقابل تلك التى تنمو فى المياه الأكثر برودة معلومات عن درجة حرارة سطح الماء. ويقدم التكوين الكيميائى للهياكل العظمية والتنوع فى حجم أنواع معينة وشكلها مفاتيح إضافية. إجمالا، يمكن لرواسب المحيط أن تقدم معلومات عن درجة حرارة الماء، والملوحة، والأكسجين المذاب، وسقوط الأمطار القارية القريبة، وقوة الرياح السائدة واتجاهها، والمواد الغذائية المتوفرة، لفترة ترجع إلى مئات الملايين من السنين.

الآبار

تقدم درجات الحرارة التى تقاس اليوم على أعماق مختلفة تحت الأرض طريقة مختلفة لاستنباط مدى اختلاف درجة حرارة السطح فى

الماضى. لفهم ذلك، فكر فى طهى ديك رومى مجمد. يمكن معرفة وقت بقاء الديك فى الفرن بقياس درجة الحرارة على أعماق مختلفة من جلده. إذا كان الديك سخنًا على السطح لكنه لا يزال متجمّدًا تحت الجلد مباشرة، يتبين أنه تعرّضَ للنار لوقت قصير فقط. إذا كانت درجة حرارة مركز الديك ١٦٥ درجة فهرنهايت، يتبين أنه فى الفرن لعدة ساعات- وينبغى عليك إخراجه قبل أن يُطهى أكثر مما ينبغى! بطريقة مماثلة، يسمح لك قياس درجة حرارة الأرض على أعماق كثيرة فى حفر عميقة ضيقة تسمى الآبار باستنباط تاريخ درجة حرارة سطح الأرض على مدار آخر بضع مئات من السنين.

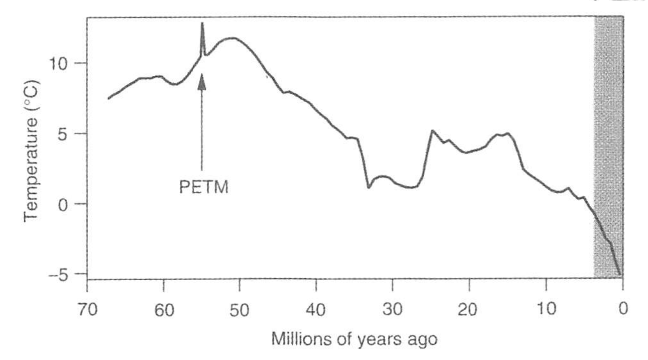
من مشاكل تفسير درجات حرارة الآبار أنها تقدم معلومات عن درجة حرارة الأرض، بينما تسجل ترمومترات السطح درجة حرارة الهواء على ارتفاع عدة أمتار من الأرض. الفرق فى درجات الحرارة المستمدة من هذين المصدرين صغير عادة، لكنه يمكن أن يكون مؤثرا اعتمادًا على خصائص السطح من قبيل غطاء اليابسة، ورطوبة التربة، والغطاء الجليدى الشتوى. فى وسط إنجلترا، على سبيل المثال، حيث من النادر أن تُغطى الأرض بالجليد ولم يحدث تغير كبير فى استخدام الأرض لعدة قرون، ميول درجة حرارة السطح المستنبطة من الآبار مماثلة تمامًا لتلك الموجودة فى سجلات الترمومترات. لكن فى شمال غرب أمريكا الشمالية، تقديرات الآبار المتعلقة بارتفاع درجة حرارة السطح على مدار القرن العشرين أكبر بمقدار ١-٢ درجة مئوية من ارتفاع درجة الحرارة فى سجل الترمومترات، ربما نتيجة التغيرات فى استخدام الأرض ومتوسط الغطاء الجليدى على مدار القرن. تُوضع مثل هذه الاختلافات فى الاعتبار وتُضبط قدر المستطاع لبناء سجل تاريخى متماسك لدرجات الحرارة.

المناخ فى الماضى من بيانات الوكيل: صورة متكاملة

يقدم كل وكيل من وكلاء المناخ رؤية مختلفة لتاريخ المناخ. على سبيل المثال، تقدم حلقات الأشجار معلومات عن مناخ منتصف خط العرض على الأرض لفترة ترجع إلى بضع مئات من السنين؛ وتقدم الشعب المرجانية معلومات عن درجات حرارة البحار الاستوائية لفترة ترجع إلى بضعة آلاف من السنين؛ ويقدم لب الجليد معلومات عن المناخ فى المناطق القطبية لفترة ترجع إلى بضع مئات الألوف من السنين. بينما لكل مصدر من مصادر هذه البيانات أوجه القصور والشكوك الخاصة به، وحدوده بالنسبة للزمان والمكان، يقدم وضعها كلها معًا صورة لمناخ الأرض ترجع إلى ١٠٠ مليون سنة، تمتد بعض السجلات إلى أبعد من ذلك.

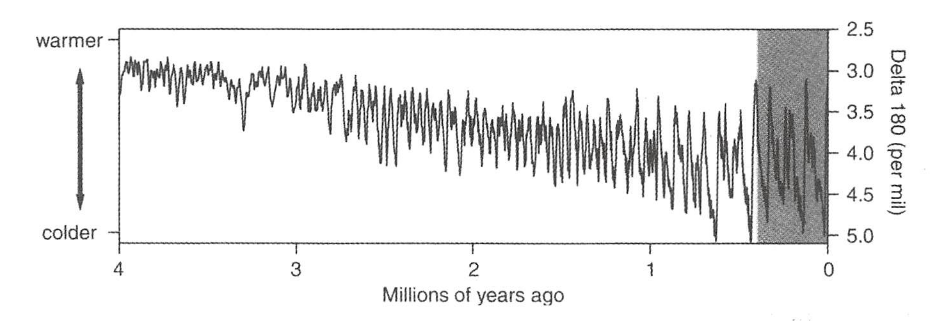
نفحص ما توضحه سجلات الوكيل عن تنوع مناخ الأرض فى الماضى فى أربع صور، بداية بالصورة الأطول مدى ثم نتحرك تدريجيا إلى الأقرب حتى الزمن الحاضر. يوضح الشكل ٣-٨ إعادة تنظيم درجات الحرارة القطبية على مدار آخر ٧٠ مليون سنة، مستنتجة من رواسب المحيطات. حدثت درجات الحرارة الأعلى فى هذا السجل منذ حوالى ٥٠ مليون سنة، أو بعد اندثار الديناصور بخمسة عشر مليون سنة، فى فترة تعرف باسم قمة المناخ الأيوسينى Eocene. فى تلك الفترة، كانت درجة حرارة الكوكب أعلى بكثير مما هى عليه اليوم. كانت الغابات تغطى الأرض من القطب إلى القطب، وحتى النباتات التى لا تستطيع احتمال حتى التجمد المـــؤقت عاشت فى مناطق القطب الشمالى، مع حيوانات مثل التماسيح التى لا تحيى اليوم إلا فى المناطق الاستوائية. منذ ذلك الوقت، تعرضت الأرض للبرودة بشكل كبير وطويل المدى.

يقرب الشكل ٣-٩ الصورة أكثر، ليوضح تنوع درجة الحرارة العالمية على مدار آخر أربعة ملايين سنة. مثل سجل ٧٠ مليون سنة فى الشكل ٣-٨، يوضح هذا الشكل أيضًا ميلا عاما للبرودة. بداية من حوالى ثلاثة ملايين سنة، تقريبا حين بدأ ظهور ألواح الجليد الكبرى مثل تلك التى فى جرينلند لأول مرة فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية، ويوضح أيضًا ظهور ذبذبات كبيرة بين فترات الدفء والبرودة. فى فترات البرودة، امتدت ألواح الجليد لتغطى أجزاء كبيرة من النصف الشمالى من الكرة الأرضية. فى فترات الدفء بين العصور الجليدية، تسمى **فترات ما بين العصور الجليدية**، تقلصت ألواح الجليد. من حوالى مليونين ونصف المليون من السنوات إلى مليون سنة مضت، حدثت عصور الجليد كل ٤١٠٠٠ سنة. ومنذ ذلك الوقت، لأسباب غير مفهومة جيدا، انخفض تكرار عصور الجليد إلى واحد كل ١٠٠٠٠٠ سنة.



الشكل ٣-٨ إعادة تنظيم درجات حرارة المناطق القطبية على مدار آخر ٧٠ مليون سنة. يسمى الارتفاع الحاد فى درجة الحرارة منذ ٥٥ مليون سنة الذروة الحرارية البلايوسينية الإيوسينية. يوضح القضيب الرمادى على اليمين آخر أربعة ملايين سنة، ويوجد موسعا فى الشكل ٣-٩. ولأن هذه السلسلة الزمنية من نظائر المحيطات، فهى حساسة لكل من درجة الحرارة والحجم الإجمالى للجليد على الأرض. بداية من حوالى ٣٥ مليون سنة مضت، يأتى بعض التنوع هنا من حجم الجليد على الأرض بدلا من درجة الحرارة. الميل العام، رغم ذلك، يمثل غالبا التغيرات فى درجة الحرارة.

المصدر: Fig. 2 of Zachos et al. (2001)

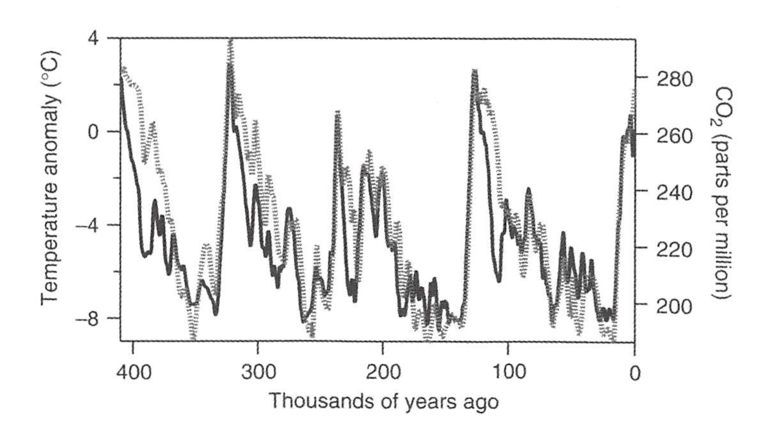


الشكل ٣-٩ مقياس متوسط درجة الحرارة النسبية فى العالم على مدار آخر أربعة ملايين سنة. يقيس المحور الرأسى الوفرة النسبية للنظير الثقيل الأكسجين-١٨، وكيل لدرجة الحرارة، فى لب رواسب المحيطات. الفرق فى درجة الحرارة بين قمة الرسم البيانى وقاعه ١٠ درجات تقريبًا. يوضح القضيب الرمادى على اليمين آخر ٤١٠٠٠٠ سنة، وتأتى بتوسع فى الشكل ٣-١٠.

المصدر: معتمد على تحليل Lisiecki and Raymo (2005).

يقرب الشكل ٣-١٠ مرة أخرى، موضحًا سجل درجة الحرارة وثانى أكسيد الكربون بالنسبة لمنطقة القطب الجنوبى على مدار آخر ٤١٠٠٠٠ مستنتجًا من لب الجليد. يوضح هذا السجل مزيدا من التفاصيل الأكثر دقة من مجموعات البيانات طويلة المدى المذكورة سابقا، بما فى ذلك شكل دورات عصور الجليد مع فترات بين جليدية قصيرة ودافئة نسبيا (تستمر ١٠٠٠٠-٣٠٠٠٠ سنة) تَفْصِل عصور الجليد الطويلة الباردة (تستمر حوالى ١٠٠٠٠٠ سنة). تنخفض درجات الحرارة للدخول فى عصر جليدى ببطء، ويستغرق الأمر عشرات الألوف من السنين، بينما يحدث ارتفاع درجة الحرارة فى نهاية عصر جليدى بشكل أسرع، ويستغرق الأمر حوالى ١٠٠٠٠ سنة. لاحظ أيضًا أن العصور الجليدية كانت أبرد من اليوم بمقدار

٥-٨ درجات مئوية فقط- وهو فرق يبدو ضئيلا إذا وضعنا فى الاعتبار أن الأرض تكون بشكل أساسى كوكبًا مختلفًا تمامًا فى العــصر الجليــدى، مــع أنهار جليدية يبلغ سمكها عدة آلاف من الأقدام تغطى معظم أجــزاء أمريكــا الشمالية، ومستوى سطح البحر منخفض ٣٠٠ قدم عــن اليــوم، مــع كــل التغيرات المصاحبة فى بيئة العالم ونظمه البيئية.

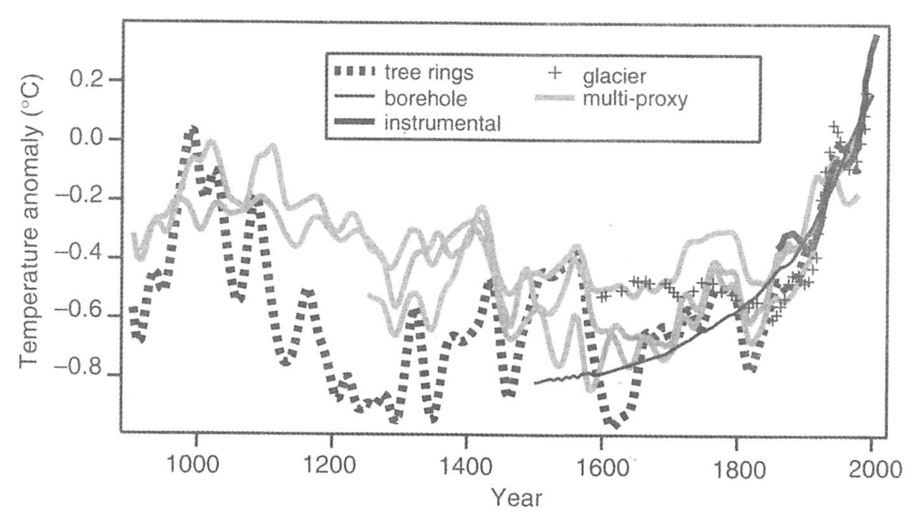


الشكل ٣-١٠ اختلاف درجة حرارة الأرض فى منطقة القطب الجنوبى (الخط الأسود) على مدار آخر ٤١٠٠٠٠ سنة، مقيسة بالنسبة لدرجة الحرارة الحالية، مشيدة من لب جليدى فى القطب الجنوبى. CO_2 (الخط الرمادى المنقط) من فقاعات هوائية محبوسة فى الجليد.

المصدر: معدلة عن Petit et al. (1999).

أخيرًا، يتم تقريب الشكل ٣-١١ مرة أخيرة لتوضيح متوسط درجة الحرارة فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية على مدار آخر ألف سنة، وهو مؤسس على وكلاء متعددين وسجلات حديثة. مرة أخرى، يوضح هذا

الشكل اختلافات درجات الحرارة فى مدى زمنى قصير غير منظور فى الرسوم البيانية التى تغطى فترات زمنية أطول. تختلف المصادر المتنوعة، خاصة قبل ١٥٠٠ سنة تقريبًا، لكنها جميعًا توضح نمطًا مماثلا. كانت درجات الحرارة عالية منذ ١٠٠٠ سنة، فى فترة تعرف باسم **فترة دفء العصور الوسطى**. ثم كانت هناك قرون عديدة من الانخفاض التدريجى فى درجات الحرارة، ووصلت إلى القاع فى فترة من ٢٠٠-٣٠٠ سنة مضت وتسمى **العصر الجليدى الضئيل**، وتلا ذلك ارتفاع أسرع فى درجات الحرارة منذ القرن التاسع عشر.



الشكل ٣-١١ متوسط اختلاف درجة الحرارة فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية خلال آخر ١٠٠٠ سنة مؤسس على سجلات وكلاء متعددة والسجل الحديث لترمومترات السطح. الاختلافات محسوبة بالنسبة لمتوسط درجة الحرارة ١٩٦١-١٩٩٠.

المصدر: معدلة عن Figure S-1 of National Research Council (2006).

إن هذا القدر الهائل والمتنامى من المعرفة عن مناخ الأرض فى الماضى يضع مناخ القرن الأخير فى السياق. ويمكننا القول بثقة عالية إنه على فترات زمنية طويلة تعود إلى مائة مليون سنة، كانت الأرض أكثر دفئًا وأكثر برودة من اليوم بكثير. ويمكننا أيضًا القول بثقة عالية، مع ذلك، إن العقود القليلة الأخيرة من القرن العشرين كانت أدفأ من أية فترة مناظرة على مدى آخر ٤٠٠ سنة، وربما حتى أدفأ من ذروة فترة الدفء فى العصور الوسطى، منذ ١٠٠٠ سنة تقريبا. ويمكننا أيضًا القول إن ارتفاع درجة الحرارة فى العقود القليلة الأخيرة كان سريعًا. على سبيل المثال، الارتفاع الحديث فى درجة الحرارة يحدث بسرعة تزيد مائة مرة عن المعدل المتوسط لارتفاع درجة الحرارة الذى أخرج الأرض من آخر عصر جليدى.

بالإضافة إلى تقديم سياق للارتفاع السريع الحديث فى درجات الحرارة، يثير الثبات النسبى فى المناخ فى الألفية الماضية مسألة مساهمة المجتمع البشرى فى تغير المناخ. لم تتطور المجتمعات البشرية الغنية، المتقدمة تكنولوجيا إلا منذ عدة قرون، ويعزو معظم الأنثروبولوجيين هذا النجاح جزئيا إلى المناخ الدافئ والمستقر نسبيا فى خلال هذه الفترة. سوف نتناول تأثيرات التغير المتوقع فى المناخ والهشاشة الاجتماعية للتغيرات فى القسم ٣-٤ وفى الفصل التالى.

بالإضافة إلى ذلك، تعمق عمليات إعادة التنظيم طويل المدى لمناخ الماضى معرفتنا بحالات تغير المناخ وأنماطه المحتملة بالنسبة لنظام مناخ الأرض، وتقدم سجلا لاختبار النظريات الخاصة بالعوامل التى تسبب تنوع

المناخ وحساسية نظام المناخ لها. وبالتالى يمكن أن يساعد فهم أسباب هذه التغيرات التى حدثت فى الماضى فى معرفة المسائل المتعلقة بمعرفة إلى أى حد ما يحدث من تغير الآن نتيجة لأنشطة الإنسان وليس لعمليات طبيعية، ومقدار تغير المناخ الذى يحتمل أن يحدث فى العقود القادمة، وهى مسائل نتناولها فى القسم ٣-٢ والقسم ٣-٣ فيما يلى.

٣-١-٨ ملخص: هل المناخ يتغير؟

يلخص الجدول ٣-١ المعلومات التى راجعناها عن الميول فى درجة حرارة الأرض. كل هذه الأدلة راجعها الرفاق وتحققت منها بأشكال متعددة مجموعات علمية مستقلة. لا توجد مجموعة بيانات يمكن الاعتماد عليها بشكل كامل، بالطبع. ولا يزال من المحتمل أن تكون أى مجموعة من هذه المجموعات الخاصة بالبيانات خطأ إلى حد بعيد، رغم أن الفحص النقدى والتحقيق المتعدد التى خضعت له كل مجموعة يجعل هذا الخطر ضئيلا بشكل معقول. لكن ليست هناك أساسًا فرصة تجعل من الممكن أن يكون قدر كاف من هذه المصادر خطأ إلى حد بعيد، وفى الاتجاه نفسه تمامًا، إن الاستنتاج العام لارتفاع درجة حرارة الأرض بشكل جوهرى فى القرن العشرين يمكن أن يكون خطأ.

نوع البيانات	اتجاه التغير فى القرن العشرين	حجم التغير، تعليقات
مقاييس ترمومترات السطح	ارتفاع درجة الحرارة	زيادة متوسط درجة حرارة الهواء على السطح بمقدار ٠,٧ درجة مئوية (١,٣ فهرناهيت) خلال القرن العشرين، مع معدل ارتفاع درجة الحرارة فى النصف الثانى من القرن ضعف معدل الارتفاع فى النصف الأول.
أنهار الجليد	ارتفاع درجة الحرارة	تراجعت أنهار الجليد فى جميع أرجاء العالم فى آخر قرنين، مع وجود أدلة على زيادة سرعة التراجع فى القرن العشرين.
تغير مستوى البحر	ارتفاع درجة الحرارة	ارتفع مستوى البحر ١٧سم تقريبا خلال القرن العشرين، مع تسارع معدل الزيادة في العقود الأخيرة
بحر الجليد	ارتفاع درجة الحرارة	انخفضت مساحة بحر الجليد فى القطب الشمالى بنسبة ٢,٧% فى العقد خلال آخر ٣٠ سنة، مع انخفاض فى مساحة الحد الأدنى فى الصيف بنسبة ٧,٤% فى العقد. انخفض أيضا سمك بحر الجليد فى القطب الشمالى خلال هذا الوقت.
درجة حرارة المحيط	ارتفاع درجة الحرارة	زاد المحتوى الحرارى لأعلى ٧٠٠ متر من المحيط بشكل دال خلال آخر ٥٠ سنة.
قياس درجة الحرارة بالقمر الصناعى	ارتفاع درجة الحرارة	يوضح قياس درجة الحرارة بالقمر الصناعى منذ ١٩٧٩ ارتفاع فى درجة الحرارة يتواءم عموما مع ارتفاع درجة حرارة السطح.
وكلاء المناخ	ارتفاع درجة الحرارة	كانت درجة حرارة الأرض أعلى أثناء آخر بضعة عقود من القرن العشرين. أعلى مما كانت عليه خلال أية فترة مماثلة فى آخر ٤٠٠ سنة.

بالإضافة إلى ذلك، لا تمثل مصادر البيانات التى راجعناها إلا جزءا صغيرا من جبل من الأدلة على ارتفاع درجة حرارة الأرض. تشمل الأدلة الأخرى المؤيدة نقص الغطاء الجليدى فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية، وذوبان الجليد فى القطب الشمالى، وزيادة قوة الرياح العرضية الغربية، وانخفاض عدد مرات حدوث البرودة المتطرفة، وزيادة عدد مرات حدوث السخونة المتطرفة، وزيادة عدد أحداث سقوط الأمطار الشديدة، وقصر موسم الجليد فى الشتاء فى البحيرات، وآلاف من التغيرات البيولوجية والبيئية الملحوظة المتوافقة مع ارتفاع درجة الحرارة (على سبيل المثال، تمدد مجالات الأنواع باتجاه القطب، والإزهار الربيعى المبكر وظهور الحشرات، الخ). وتوجد بعض الأدلة المضادة، مثل عدم وجود تدهور فى الجليد البحرى فى القطب الجنوبى، لكن مثل هذه البيانات نادرة، وفى مناطق محدودة، والأدلة على ارتفاع درجة الحرارة تفوقها بكثير. تحت ثقل هذه الأدلة الغزيرة المتماسكة التى تم فحصها جيدا، استخدم تقرير التقييم الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لغة قوية بشكل لافت فى استنتاج أن الارتفاع العالمى الحديث فى درجة الحرارة أمر **جلى** الآن.

٣-٢ هل أنشطة الإنسان مسئولة عن التغيرات الملحوظة؟

يتناول هذا القسم أسباب ارتفاع الحرارة حديثا، الموثق فى القسم السابق: **هل أنشطة الإنسان مسئولة عن الارتفاع الحديث الملاحظ فى الحرارة. أم ربما أنه يحدث نتيجة عملية طبيعية؟** هذا سؤال أصعب من

السؤال عما إذا كانت حرارة الأرض فى ارتفاع، لأن ترسيخ علاقة السبب والنتيجة يتطلب استنتاجا لا يتطلبه ببساطة تحديد الميل. يتطلب توضيح السبب البشرى توضيح أن الانبعاث البشرى يمكن أن يكون مسئولا عن الميول الملحوظة لارتفاع الحرارة، وتوضيح أن التفسيرات الأخرى المحتملة لا يمكن أن تكون مسئولة عن ذلك.

بينما الانبعاث البشرى سبب محتمل بشكل واضح للارتفاع الحديث فى درجة الحرارة، لابد من وضع أسباب أخرى محتملة فى الاعتبار. تعرضت الأرض لذبذبات كبيرة فى المناخ عبر التاريخ، كما أوضحنا فى القسم ٣-١-٧، لكن فقط فى القرون القليلة الماضية توسعت الأنشطة البشرية حتى صارت لها القدرة على التأثير فى العمليات التى تمتد على نطاق العالم، بما فى ذلك المناخ. وحيث أن الأسباب الطبيعية تفسر تغيرات المناخ فى العصور السابقة، يجب أن نضعها فى الاعتبار بوصفها عوامل محتملة تساعد بالمثل على التغيرات الحديثة السريعة.

هناك خمسة أنواع من العمليات الطبيعية من المعروف أن لها تأثيرات مهمة على المناخ: العمليات التكتونية tectonic، والاختلاف فى مدار الأرض، والثورات البركانية، والاختلاف فى الطاقة المنبعثة من الشمس، والاختلاف الداخلى فى نظام المناخ. يفحص هذا القسم كل عملية من هذه العمليات الطبيعية كما يفحص انبعاث غازات البيوت الزجاجية على أيدى الإنسان، متسائلا عن مدى مسئولية كل عامل عن الارتفاع الملحوظ فى الحرارة فى القرن الماضى، وخاصة الارتفاع السريع فى العقود القليلة الماضية. ونستنتج أنه، بالنسبة للنصف الثانى من القرن العشرين على الأقل، من المرجح جدا أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية على أيدى الإنسان مسئول عن معظم الارتفاع فى الحرارة.

٣-٢-١ العمليات التكتونية

العمليات التكتونية عمليات جيولوجية تشمل قشرة الأرض وتحدد مواضع القارات وأحواض المحيطات. ويمكن لهذه العمليات أن تؤثر على المناخ بعدة طرق. يحدد وجود القارات فى المناطق الاستوائية أو قرب القطبين مساحة الأرض التى يمكن أن تغطيها الثلوج، مما يؤثر على انعكاسية الكوكب. وهكذا فإن تحركها من خطوط عرض منخفضة إلى خطوط عرض مرتفعة، أو العكس، يمكن أن يغير المناخ. على سبيل المثال، يعتقد أن انحراف القارات ببطء باتجاه القطب بدأ عصرا جليديا منذ حوالى ٢٥٠ مليون سنة، فى العصر الباليوزى Paleozoic.

يؤثر موقع القارات أيضا على الرياح والتيارات البحرية، التى تنظم المناخ العالمى بنقل الحرارة من المناطق الاستوائية إلى مناطق خطوط العرض المتوسطة والمرتفعة. وهكذا، والقارات تتحرك، يمكن أن يتغير هذا الانتقال للحرارة باتجاه القطب. على سبيل المثال، انفصلت شبه جزيرة أنتاركتيكا عن الطرف الجنوبى من أمريكا الجنوبية منذ حوالى ٣٠ مليون سنة، فاتحة ممر دريك Drake. وسمحت هذه الفتحة للرياح والمياه بالاندفاع دون عوائق فى ممر ممتد حول أنتاركتيكا. وهذا الاندفاع القوى منع انتقال الماء الدافئ والهواء من المناطق القطبية إلى المنطقة القطبية الجنوبية، متسببا فى تبريد درامى فى منطقة القطب الجنوبى، ومساهما فى تكوين القمة الجليدية فى القطب الجنوبى.

يمكن أن يؤثر النشاط التكتونى أيضًا على المناخ بتغيير CO_2 فى الغلاف الجوى. يذوب CO_2 الموجود فى الغلاف الجوى فى ماء المطر ليكون حمض الكربونيك، وهذا الحمض الضعيف نفسه يوجد فى المشروبات الغازية. حين تتفاعل هذه الأمطار مع الصخور الرسوبية، فى عملية تسمى **التجوية الكيميائية** *chemical weathering*، يتحول CO_2 إلى كربونات

الكالسيوم الذى يتدفق فى المحيطات ويدفن فى النهاية فى رواسب المحيطات. واتضحت قوة هذه العملية بتصادم شبه القارة الهندية، منذ ٤٠ مليون سنة تقريبًا، مع القارة الآسيوية، مما شكل جبال الهيمالايا وهضبة التبت المجاورة. (تحدث عمليات التصادم بين القارات ببطء: هذا التصادم لا يزال مستمرا حتى اليوم.) جلبت الرياح السائدة أمطارًا ثقيلة على التمدد الهائل للصخرة التى تعرضت حديثا لهذه السمات، وسحبت التجوية الكيميائية الناتجة CO_2 من الغلاف الجوى لفترة تبلغ ملايين السنين.

هل يمكن أن يكون أى تغير من هذه التغيرات التكتونية مسئولا عن ارتفاع الحرارة فى العقود القليلة الماضية؟ الإجابة بالنفى بشكل مؤكد تقريبا، لأن العمليات التكتونية أبطأ بكثير جدا. العمليات التكتونية لا تحرك القارات أكثر من بضعة سنتيمترات كل سنة، وهكذا يستغرق الأمر ملايين السنين لإحداث تغير كبير بشكل كافٍ للتأثير على المناخ. تغيرات المناخ على مدى بضعة عقود أو حتى بضعة قرون أسرع بكثير جدا من أن يكون للعمليات التكتونية تأثير عليها.

٣-٢-٢ الاختلافات المدارية

مدار الأرض حول الشمس ليس دائرة كاملة لا تتغير، لكنه قطع ناقص يتغير شكله واتجاهه ببطء بمرور الزمن، بثلاث طرق. الأولى: يختلف انحراف القطع الناقص (النسبة بين المحور الرئيسى والمحور الثانوى) ببطء، مكملا دورة كل ١٠٠٠٠٠ سنة تقريبًا. والانحراف يختلف، ويختلف أيضا متوسط المسافة بين الأرض والشمس. الثانية: يختلف الموعد السنوى الذى تكون الأرض فيه أقرب ما يكون إلى الشمس. الأرض الآن أقرب أثناء شتاء

النصف الشمالى، لكن فى خلال ١٠٠٠٠ سنة ستكون أقرب فى صيف النصف الشمالى. الثالثة: ميل محور الأرض بالنسبة للشمس، وهو الآن ٢٣ درجة تقريبًا، يتذبذب ببطء بين ٢٢-٢٥ درجة تقريبا على مدى ٤٠٠٠٠ سنة.

تؤثر هذه الاختلافات المدارية الصغيرة كلها على المناخ. تغير المسافة بين الأرض والشمس يغير الطاقة الشمسية الكلية التـــى تستقبلهـــا الشمس. لا يؤثر التغيران الآخران على مجمل ما يصل من أشعة الشمس إلى الأرض، لكنهما يغيران انتشارها على مدار العام على سطح الأرض. على سبيل المثال، يغير الاختلاف فى ميل الأرض مقدار ما يسقط من أشعة الشمس على المناطق الاستوائية مقارنة بالمناطق القطبية. والآن هناك اتفاق على نطاق واسع على أن هذه الاختلافات المدارية البطيئة تستهل الدورة بين العصور الجليدية وفترات الدفء بين العصور الجليدية التى تعرضت لها الأرض خلال آخر بضعة ملايين من السنين، كما يبين الشكل ٣-٩ والشكل ٣-١٠. ويتأسس هذا الاستنتاج على التوافق شبه الكامل بين توقيت الاختلافات المدارية والانتقال إلى عصر جليدى أو الخروج منه.

وهكذا إذا كانت التغيرات المدارية تدفع تغيرات المناخ فى آخر بضع مئات الألوف من السنين، هل تستطيع أيضًا أن تسبب ارتفاع الحرارة فى القرن الماضى؟ من المؤكد تقريبًا أنها لا تستطيع، للسبب نفسه الذى يجعل العمليات التكتونية لا تستطيع. هذه الذبذبات المدارية بطيئة جدا بحيث يستغرق الأمر ألوف السنوات أو أكثر لإحداث أى تغير مهم فى نمط أشعة الشمس القادمة إلى الأرض. كان ارتفاع الحرارة فى القرن الماضى أسرع بكثير من أن يكون نتيجة لهذه الاختلافات المدارية البطيئة. ومن ثم لابد أن يكون ارتفاع الحرارة نتيجة لأسباب أخرى.

٣-٢-٣ البراكين

يمكن للثورات البركانية أن تغير المناخ بطريقتين. تطلق البراكين كميات كبيرة من CO_2، ومن ثم يمكن أن تساهم فى ارتفاع حرارة المناخ من خلال تأثير البيوت الزجاجية. وفى الحقيقة يتم التحكم، على فترات زمنية تبلغ ملايين السنين، فى وفرة CO_2 بالتوازن بين الانبعاث البركانى والإزالة البطيئة فى المحيط من خلال التجوية الكيميائية والنشاط البيولوجى. ويمكن أيضًا أن يكون للبراكين تأثير أسرع على المناخ، بدفع الغبار والرماد، وغازات الكبريت إلى الغلاف الجوى. يسقط الغبار والرماد على الأرض بسرعة، لكن غازات الكبريت تتحد مع الماء لتكوّن قطرات إيروسول صغيرة معلقة تحجب أشعة الشمس القادمة وتبرد الأرض لعدة سنوات بعد ثورة بركانية كبيرة.

فى ١٨١٦، على سبيل المثال، بعد ثلاث ثورات كبرى فى ثلاث سنوات، عرفت الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا "سنة بلا صيف"، سقطت فيها الثلوج فى ولاية فيرمونت فى يونيو وحال الصقيع الصيفى الثقيل دون نمو المحاصيل وأدى إلى نقص فى الغذاء على نطاق واسع. حين تلا هذا الصيفَ شتاءٌ شديد البرودة جعل الزئبق فى الترمومترات يتجمد (يحدث هذا عند -٤٠ درجة مئوية)، هرب كثير من السكان من شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية وانتقلوا إلى الجنوب.

هل يمكن أن تكون البراكين مسئولة بشكل ما عن الارتفاع الحديث الملحوظ فى درجة الحرارة؟ يمكن أن تكون إذا كانت البراكين مسئولة عن

الزيادة فى CO_2 فى القرنين الأخيرين، لكنها ليست مسئولة. تنسب الزيادة الملحوظة لثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى بثقة لاحتراق الوقود الحفرى بكثير من الأدلة. أكثرها إقناعا، إن زيادة CO_2 فى الغلاف الجوى عكس بدقة كمية CO_2 التى أضافها البشر إلى الغلاف الجوى- يبدو من غير المحتمل إلى حد بعيد أن عملية طبيعية يمكن أن تفعل ذلك. بالإضافة إلى ذلك، يتواءم أثر نظائر الكربون المضاف إلى الغلاف الجوى مع الوقود الحفرى ولا يتواءم مع البراكين.

الطريقة الثانية التى ربما سببت بها البراكين الارتفاع الحديث فى درجة الحرارة يمكن أن تكون النقص التدريجى فى إيروسول البراكين فى الغلاف الجوى خلال القرن الأخير. لكـن لأن تأثيـرات كل ثورة بركانية لا تمكث إلا بضع سنوات، فإن ذلك ربما يتطلب سلسلة من الثورات الهائلة كل بضع سنوات، كل منها تعدل بدقة فى حجمها وتوقيتها لتحقق الانخفاض المطلوب فى الإيروسول بشكل سلس. يمكننا أن نختبر هذه المقولة بالنظر إلى السجلات المتاحة للثورات البركانية فى آخر قرن أو اثنين، وكمية التدفق البركانى فى الغلاف الجوى فى آخر بضعة عقود. بينما يبدو أن هذه السجلات تفسر بعض الذبذبات فى سجل درجة الحرارة فى العالم كما يوضح الشكل ٣-١، لا توجد علامة على نمط مستمر من الثورات البركانية مطلوب لتفسير الميل إلى ارتفاع الحرارة فى عدة عقود. ونتيجة لذلك، يمكننا أن نستبعد بشكل آمن البراكين باعتبارها سببا للارتفاع الحديث فى الحرارة.

٣-٢-٤ التقلب الشمسى

لأن أشعة الشمس هى المصدر الأساسى للقوة بالنسبة لمناخنا، فإن أى تغير فى كمية ما يصل من أشعة الشمس إلى سطح الأرض يمكن أن يغير المناخ. فى الحقيقة، بتغيير كمية ما يصل من أشعة الشمس إلى السطح تمارس الاختلافات المدارية والبراكين تأثيرها على المناخ. لكن كمية ما يصل من أشعة الشمس إلى الأرض لا يمكن أن تختلف إلا نتيجة للتغيرات فى الطاقة المنبعثة من الشمس نفسها. ويتبين أن الشمس لا تشرق بسطوع ثابت، لكنها تخفق مثل مصباح قديم (إن عمرها ٥ بلايين سنة، رغم كل شيء). ولا نلاحظ هذا الخفقان، لأنه صغير (كسور فى المائة) ويحدث ببطء، على مدى شهور وسنوات وربما أكثر.

لا يمكن قياس الطاقة المنبعثة من الشمس بشكل يمكن التعويل عليه من على سطح الأرض، لكنه يقاس منذ سبعينيات القرن العشرين بواسطة الأقمار الصناعية. فى هذه الفترة، كان الاختلاف الوحيد الذى تمت ملاحظته هو الدورة الشمسية المعروفة كل ١١ سنة، وبها تختلف الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس بمقدار ٠,١% تقريبًا. ونتيجة للخمـــول الحرارى الهائل للمحيطات، لا يتفاعل المناخ مع هذه الاختلافات قصيرة المدى. ولم تكن هناك تغيرات أخرى فيما ينبعث من الشمس خلال تلك الفترة يمكن أن تفسر الارتفاع السريع فى حرارة الأرض.

ثمة سبب آخر يبعد الاختلاف الشمسى عن أن يكون تفسيرا وهو أن زيادة الطاقة الشمسية ترفع حرارة الغلاف الجوى كله. وهو ما لا يحدث. فى

الحقيقة يوضح القياس من بالونات الطقس والأقمار الصناعية أن حرارة الاستراتوسفير (طبقة من الغلاف الجوى تبدأ على ارتفاع ١٠كم تقريبًا) انخفضت فى آخر بضعة عقود. ويتواءم هذا النمط من التغير مع ارتفاع درجة الحرارة من غازات البيوت الزجاجية- التى ترفع حرارة السطح والجزء السفلى من الغلاف الجوى بينما تبرد الاستراتوسفير- لكنه لا يتواءم مع ارتفاع الحرارة نتيجة تقلب الشمس. وهكذا، يمكن أن نستنتج بثقة هائلة أن الارتفاع السريع فى الحرارة فى آخر بضعة عقود ليس بسبب الشمس.

ومع ذلك، يصعب تحديد تأثير الشمس على التغيرات المناخية المبكرة. ينبغى استنباط ما ينبعث من الشمس قبل القياس المباشر بالأقمار الصناعية بواسطة الوكلاء، من قبيل عدد البقع الشمسية، التى كان الناس يحصونها لآلاف السنين. استنتجت أحدث تحليلات هذه السجلات أن الشمس صارت أكثر سطوعًا فى آخر بضع مئات من السنين، ويمكن لهذا أن يفسر ضمنيا على الأقل بعض الارتفاع التدريجى فى درجة الحرارة فى آخر بضع مئات من السنين، لكنه لا يفسر الارتفاع السريع فى الحرارة فى آخر بضعة عقود.

٣-٢-٥ الاختلاف الداخلى

يتضمن كل ما تناولناه من المصادر المحتملة لارتفاع الحرارة **اختلافا اضطراريا** إلى حد بعيد، تغيرات مناخ الأرض استجابة لتغير مفروض من الخارج، مثل تغير انتشار ضوء الشمس القادم إلى الأرض، أو انعكاسية الأرض، أو نسق القارات. لكن نظام مناخ الأرض معقد جدا بحيث يمكن أن

يتغير دون أن تدفعه عوامل خارجية، إلى حد ما مثل تذبذب دوران قمة. مثل هذه التغيرات تسمى **الاختلافات الداخلية**، ومن أشهرها تذبذب النينو/الجنوبى، وقد ناقشناه فى القسم ٣-١-٦.

هل يمكن أن يكون ارتفاع الحرارة فى آخر بضعة عقود اختلافاً داخليًا، جزءًا من تذبذب طبيعى فى نظام المناخ؟ يمكن أن تساعد بيانات الوكيل عن اختلافات المناخ قبل القرنين الأخيرين فى الإجابة على هذا السؤال. ربما كان لأنشطة الإنسان تأثير ضئيل على المناخ قبل عام ١٨٠٠، وهكذا فإن بيانات الوكيل قبل ذلك الزمن ينبغى أن تقدم صورة جيدة للاختلاف الطبيعى الحديث فى المناخ. لكــن كما يوضــح الشكــل ٣-١١، لا يوضح السجل بين سنة ١٠٠٠ وسنة ١٨٠٠ شيئا مماثلا لمعدل ارتفاع الحرارة فى القرن العشرين ومدى هذا الارتفاع. وهكذا إذا كان الارتفاع الحديث فى الحرارة نتيجة لاختلاف طبيعى، فإنه لا يوجد دليل على أنه نوع من الاختلاف الذى كان يعمل على مدار آخر ألف سنة.

والمرء ينظر إلى البيانات الأقدم للوكلاء، يقل وضوح الزمن، وهكذا تختفى القدرة على رؤية الاختلافات على مدار عقود أو قرون. وهكذا نعرف أقل فيما يتعلق بكيفية اختلاف الحرارة من سنة لسنة ونحن نرجع أكثر عبر الزمن. توجد بعض الأدلة على تغيرات سريعة فى المناخ فى آخر عشرين ألف سنة، مع حدوث ارتفاع فى الحرارة حتى إلى بضع درجات مئوية على مدار بضعة عقود أو قرن، أثناء الانتقال إلى العصور الجليدية أو الخروج منها. لكن هذه التغيرات الطبيعية السريعة حدثت مع إعادة تنظيم سريع على نطاق كبير من الأنماط الدورية فى الغلاف الجوى والمحيطات، وليست هناك علامة على حدوث تغيرات دورية مماثلة على نطاق واسع فى هذه الأيام.

وهناك مشكلة إضافية بالنسبة لتفسير الارتفاع الحديث فى الحرارة باعتباره اختلافا طبيعيا، وتتمثل فى أن الانتشار المكانى للارتفاع الملحوظ فى الحرارة يبدو غير متوائم مع الاختلاف الداخلى. أى شكل من الاختلاف الداخلى مسئول عن الارتفاع الحديث فى الحرارة سيكون بشكل مؤكد تقريبا مدفوعا، مثل النينو، بتغيرات فى دورة المحيط التى ترفع حرارة سطح المحيط. إذا حدث ذلك، فمن الممكن أن نتوقع رؤية ارتفاع الحرارة فى المحيط بشكل أكبر مما يحدث على اليابسة، لكن الملاحظات توضح العكس: ترتفع الحرارة على اليابسة أسرع بشكل دال مما يحدث فى المحيطات.

أخيرًا، يمكننا أن نتعرف على الاختلاف الطبيعى فى المناخ باستخدام نماذج للمناخ من دون انبعاث لغازات البيوت الزجاجية على يد الإنسان. حين استخدمت نماذج المناخ بهذه الطريقة وضحت اختلافات فى المتوسط العالمى لدرجة الحرارة من سنة إلى سنة ومن عقد إلى عقد مماثلة لتلك التى رأيناها فى بيانات وكلاء المناخ قبل عام ١٨٠٠، لكنها لم تنتج شيئا يشبه الارتفاع السريع فى الحرارة فى القرن الماضى. (نرى فى القسم التالى أنه فقط حين يشمل الأمر الزيادة الحديثة فى غازات البيوت الزجاجية يمكن لنماذج المناخ أن تولد الارتفاع الحديث السريع الملحوظ فى الحرارة.) وبوضعها معا، توحى كل هذه الأدلة أنه بينما لا يمكننا أن نستبعد بشكل قاطع الاختلاف الطبيعى فى المناخ باعتباره مشاركا فى الارتفاع الحديث فى درجة الحرارة، فمن غير المحتمل أن يكون مسئولا عن أى كسر دال فى الارتفاع الحديث السريع فى الحرارة.

٣-٢-٦ زيادة غازات البيوت الزجاجية

ناقشنا فى القسم ١-٢ كيف أن غازات البيوت الزجاجية تتزايد فى الغلاف الجوى فى القرنين الأخيرين أو نحو ذلك، وبشكل أساسى نتيجة لنشاط الإنسان. هناك أسباب نظرية قوية، تمتد جذورها فى مبادئ الفيزياء، لتوقع أن ترفع هذه الزيادة من حرارة سطح الأرض. يوضح سجل المناخ فى الماضى أمثلة كثيرة على تذبذب لدرجة الحرارة مرتبط بتغيرات فى CO_2 وغازات أخرى فى البيوت الزجاجية، مقدمة دعما لهذا التوقع النظرى الأساسى. يوضح الشكل ٣-٨ على سبيل المثال، ارتفاع فى درجات الحرارة منذ ٥٠ مليون سنة حين كان CO_2 أكثر بعدة مرات مما هو عليه اليوم، وتلا ذلك فترة طويلة بطيئة من انخفاض درجة الحرارة بالتوازى مع نقص CO_2 من زيادة التجوية الكيميائية والامتصاص البيولوجى فى المحيطات.

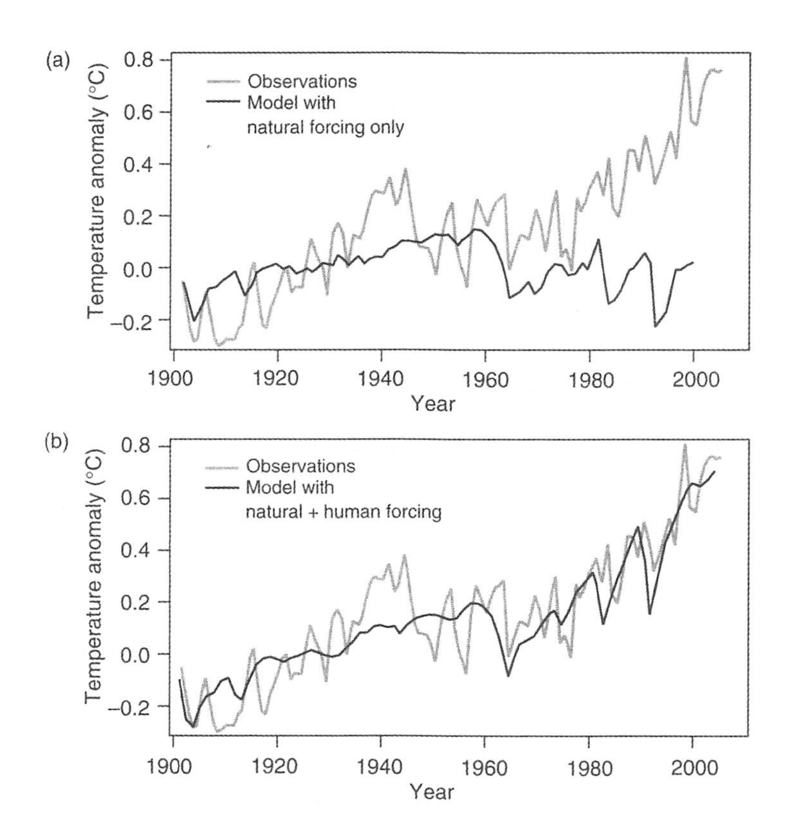
بالإضافة إلى ذلك، الزيادة الحادة فى درجة الحرارة منذ ٥٥ مليون سنة تقريبًا فى الشكل ٣-٨، القمة الحرارية البليوسينية الإيوسينية Paleocene-Eocene توضح بجلاء قوة غازات البيوت الزجاجية على رفع حرارة الكوكب. فى ذلك الوقت، حدث انطلاق هائل لثانى أكسيد الكربون والميثان فى الغلاف الجوى على مدى ١٠٠٠٠ سنة تقريبا مما أدى إلى ارتفاع مفاجئ فى الحرارة بلغ ٥ درجات مئوية تقريبا. وحين كانت غازات البيوت الزجاجية تُزال من الغلاف الجوى على مدار ١٠٠٠٠٠ سنة التالية، رجعت درجة حرارة الأرض إلى ما كانت عليه قبل القمة الحرارية البليوسينية الإيوسينية.

الارتباط بين CO_2 ودرجة الحرارة أكثر وضوحًا حتى خلال آخر بضع مئات الألوف من السنين. يوضح الشكل ٣-١٠ كيف أن CO_2 ودرجة الحرارة يختلفان بشكل متلازم مع دورة الأرض بين العصور الجليدية وعصور الدفء بين العصور الجليدية، لكن آليات هذه العلاقة معقدة إلى حد ما. نعرف أن عصور الجليد تُستهلُ باختلافات ضئيلة فى مدار الأرض، لكن التغيرات الناجمة عن ذلك فى انتشار ضوء الشمس أصغر بكثير من أن تفسر التغيرات الكبيرة التالية فى درجة حرارة العالم- لابد أن هناك شيئًا آخر يضخم تأثير الاختلافات المدارية. يعتقد معظم العلماء الآن أن التغذية الرجعية الإيجابية التى بواسطتها يفجر ارتفاع أولى صغير فى درجة الحرارة انطلاق CO_2 وبقية غازات البيوت الزجاجية، مما يؤدى إلى مزيد من ارتفاع درجة الحرارة. الآلية الدقيقة لهذه التغذية الرجعية غير مفهومة بشكل جيد، لكن هناك احتمالا يوضع فى الاعتبار وهو أن الارتفاع الأولى فى الحرارة يزيد من النشاط البيولوجى، ويطلق CO_2 من زيادة تحلل التربة العضوية.

يأتى الدليل الأخير على أن غازات البيوت الزجاجية مسئولة عن الارتفاع الحديث فى الحرارة من نماذج المناخ. يقارن الشكل ٣-١٢ سجل درجات الحرارة التى تمت ملاحظتها منذ عام ١٩٠٠ مع نتائج مسارات نموذجين من نماذج المناخ. يشمل مسار النموذج فى اللوحة (a) القوى الطبيعية المعروفة- تقلب الشمس والبراكين- لكنها لا تشمل أى تأثير إنسانى على المناخ. ينتج هذا الحساب ذبذبات كثيرة فى السجل، مما يوحى بأنها

ليست نتيجة لنشاط الإنسان. لكن هذا التقليد يفشل تمامًا في فهم الارتفاع السريع في درجة الحرارة بداية من سبعينيات القرن العشرين تقريبًا.

يشمل مسار النموذج في اللوحة (b) التأثيرات الطبيعية كما يشمل تأثيرات أنشطة الإنسان- وبشكل أساسي انبعاث غازات البيوت الزجاجية، ويشمل أيضًا إيروسولات الكبريت واستنفاد الأوزون من طبقة الاستراتوسفير، والاثنان يبردان السطح. يتضمن النموذج معظم الخصائص المهمة في الملاحظات- ويتضمن خاصة الارتفاع السريع في الحرارة منذ سبعينيات القرن العشرين وهو ما يفشل نموذج التأثيرات الطبيعية في تقليده. ويوضح هذا أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية على يد الإنسان، والبراكين، والتأثيرات الشمسية ساهمت كلها في تغيرات درجة حرارة العالم في القرن الأخير، لكن انبعاث غازات البيوت الزجاجية مسئول عن معظم الارتفاع السريع في الحرارة في أواخر القرن العشرين.



الشكل ٣-١٢ اختلافات متوسط درجة حرارة سطح الأرض من سجل ترمومترات السطح (الخط الرمادى فى الرسمين)، مقارنة بنموذج لمناخ المحيط والغلاف الجوى (الخط الأسود). (a) نموذج يحتوى فقط على التأثير الطبيعى على المناخ دون تدخل الإنسان، وخاصة تأثيرات الشمس والبراكين. (b) نموذج يشمل التأثير الطبيعى وتأثير انبعاث غازات البيوت الزجاجية، والإيروسول، واستنفاد الأوزون. الاختلافات مقيسة مقارنة بمتوسط ١٩٠١-١٩٥٠.

المصدر: **Fig. TS.23, IPCC**

٣-٢-٧ الملخص: هل أنشطة الإنسان مسئولة عن ارتفاع الحرارة مؤخرا؟

وضعنا فى الاعتبار الأسباب الستة المحتملة للارتفاع الملحوظ فى الحرارة فى آخر بضعة عقود من القرن العشرين. يمكن استبعاد اثنين منها، الاختلافات المدارية والعمليات التكتونية، باعتبارهما مساهمين بشكل مؤثر لأنهما بطيئان جدا بحيث لا يمكن أن يكون لهما تأثير يذكر على المناخ فى فترات قصيرة لا تتعدى بضعة عقود أو قرنا. يمكن أيضًا رفض عمليتين أخريين، الثورات البركانية وتغيرات ما ينبعث من الشمس، لأن لدينا مقاييس جيدة لهما فى الفترة المذكورة ولم يظهرا نمطا من التغيرات يمكن أن يكون مطلوبا لتفسير ارتفاع الحرارة مؤخرا. ربما يفسر الاختلاف الداخلى الكثير من الذبذبات فى المناخ فى القرن الماضى أو القرنين الماضيين، لكن توجد أيضًا أسباب قوية لاستبعاده باعتباره سببا للارتفاع الحاد فى الحرارة فى العقود الأخيرة.

وبهذا لا يتبقى سوى الزيادة فى غازات البيوت الزجاجية، وقد وصفنا الأدلة التى تدعم هذا التفسير. قدم القسم ١-٢ الخطوط العريضة للأسباب النظرية القوية التى تجعلنا نتوقع أن ترفع غازات البيوت الزجاجية حرارة الكوكب. بالإضافة إلى ذلك، تم الربط بين غازات البيوت الزجاجية ودرجة الحرارة مرات كثيرة على مدار آخر ٦٠ مليون سنة من تاريخ المناخ. إن الأدلة التى تربط غازات البيوت الزجاجية بالمناخ قوية جدا بحيث لا يمكن القول إن ارتفاع الحرارة مؤخرا له سبب آخر، ومن الضرورى أن نفسر لماذا لا ترفع الزيادة الملحوظة فى غازات البيوت الزجاجية حرارة الكوكب كما نتوقع. الدليل الحاسم قدمته نماذج المناخ، التى يمكن أن تعيد إنتاج

تغيرات المناخ فى القرن الماضى فقط إذا كانت تشمل انبعاث غازات البيوت الزجاجية الناجمة عن أنشطة الإنسان.

وإذا وضعنا فى الاعتبار الأدلة الدامغة التى تدعم غازات البيوت الزجاجية، وعدم وجود أى تفسير بديل مقبول- رغم الكثير من المحاولات للعثور على مثل تلك الأدلة- استنتجت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فى تقريرها سنة ٢٠٠٧ أن "معظم الزيادة الملحوظة فى متوسط درجات الحرارة فى العالم منذ منتصف القرن العشرين من المرجح تماما أن يكون نتيجة للزيادة الملحوظة فى تركيز غازات البيوت الزجاجية نتيجة لنشاط الإنسان."

وهذا الاستنتاج بالغ القوة، لكن من المهم أيضًا أن نلاحظ أن الطرق الثلاث التى تحد من قوت بدقة. الأولى: ترتفع حرارة الأرض لمدة ٤٠٠ سنة على الأقل. ومع ذلك، بالنسبة لارتفاع الحرارة قبل منتصف القرن العشرين هناك مساهمة كبيرة من عوامل طبيعية من قبيل الاختلاف الشمسى لا يمكن استبعادها. ربما ساهم نشاط الإنسان أيضًا فى هذا الارتفاع المبكر فى الحرارة. لكن هذا لم يثبت بالثقة العالية المطلوبة، وهكذا يتجنب بيان IPCC بشكل خاص أن يعزو ارتفاع الحرارة قبل ١٩٥٠ إلى أنشطة الإنسان.

الثانية: لا تقول IPCC إن العوامل الطبيعية من قبيل الاختلاف الداخلى لم تساهم فى ارتفاع الحرارة فى العقود القليلة الأخيرة. فى الحقيقة، ربما مارست العوامل الطبيعية بعض التأثير خلال تلك الفترة. ما تدعمه الأدلة أن أية مساهمة من العوامل الطبيعية تعتبر صغيرة مقارنة بتأثيرات الإنسان فى

تلك الفترة. وبالتالى، تقول تقارير IPCC إن البشر مسئولون عن "معظم" الارتفاع الحديث فى الحرارة، وليس كله. أخيرًا، بينما نعرف الكثير عن نظام المناخ، تبقى بعض الشكوك. ولهذا السبب، تصف IPPC هذا الاستنتاج بأنه "مرجح جدا"، مما يعنى بلغتهم بالغة الدقة أنهم يحكمون أن من المرجح أن يكون صحيحا بنسبة ٩٠%.

كيف يمكن للناس بشكل آخر أن يعدلوا المناخ؟

غازات البيوت الزجاجية مجرد طريقة من طرق كثيرة يمكن أن تؤثر بها أنشطة الإنسان على المناخ. تزيد أنشطة الإنسان من وفرة الإيروسولات أيضا فى الغلاف الجوى- وهى جزيئات صغيرة، صلبة أو سائلة، معلقة فى الغلاف الجوى. يمكن أن ترفع حرارة سطح الأرض أو تخفضها حسب تكوينها.

الحرق غير الكافى أو غير الكامل، كما يحدث عند تصادم محركين وفى نيران الطبخ منخفضة الحرارة التى تحرق الوقود التقليدى مثل الروث أو القش، تطلق إيروسولات كربون سوداء (جزيئات ضئيلة من الهباب)، تمتص أشعة الشمس القادمة والأشعة تحت الحمراء المنبعثة، ومن ثم ترفع حرارة السطح. حرق وقود يحتوى على كبريت يشكل إيروسولات الكبريت السائلة، مما يعكس أشعة الشمس القادمة إلى الفضاء وبذلك يبرد سطح الأرض. وتتفاعل الإيروسولات مع السحب أيضا، مما يزيد من الانعكاسية ومن ثم يبرد سطح الأرض.

التغيرات فى استخدام اليابسة يمكن أيضا أن تغير فى المناخ. قطع غابة وإقامة حقل مكانها، على سبيل المثال، يستبدل بسطح نباتى قاتم سطحا نباتيا فاتحا، يعكس كمية أكبر من أشعة الشمس ويبرد المناخ.

التأثير السائد فى المناخ نتيجة تغيرات استخدام اليابسة موضعى، لكنه يمكن أن يكون كبيرا عالميا حين يكون تغير استخدام اليابسة عالميا. بجمع كل تأثيراتِ أنشطة الإنسان على المناخ غير انبعاث غازات البيوت الزجاجية، تسبب فى النهاية تكون المحصلة النهائية انخفاضا عالميا فى الحرارة ربما يقابل ٣٠% تقريبا من ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت الزجاجية. ومعظم هذا الانخفاض فى الحرارة ناتج عن إيروسولات الكبريت العاكسة. وحيث أنها مكون رئيسى من تلوث الهواء. فإن جهود تخفيض تلوث الهواء سوف يقلل تأثير الانخفاض المقابل فى الحرارة ويتسبب فى ارتفاع إضافى فى الحرارة.

٣-٣ ما التغيرات الأخرى المحتملة؟ التنبؤ بتغير المناخ فى القرن الحادى والعشرين

يمثل تعريف تغيرات المناخ فى الماضى ومدى مسئولية الانبعاث نتيجة أنشطة الإنسان عنه إنجازات مهمة فى علم المناخ. لكن تهديد تغير المناخ فى المستقبل هو ما يدفع الاهتمام العام وصنع السياسة. يتطلب اتخاذ قرارات رشيدة بما ينبغى عمله معلومات عن التغيرات المناخية التى ربما نواجهها فى المستقبل، وكيف يمكن أن تعدلها أفعالنا. وهذا الاحتياج يضع التنبؤات بتغير المناخ فى المستقبل فى مركز المناظرة السياسية.

نماذج المناخ هى الوسيلة الأساسية للتنبؤ بتغير المناخ فى المستقبل. وقد رأينا بالفعل كيف لعبت نماذج المناخ دورًا رئيسيا فى أن تعزو ارتفاع الحرارة مؤخرا إلى غازات البيوت الزجاجية. فى تلك الحسابات، تستخدم نماذج المناخ التركيز الملحوظ لثانى أكسيد الكربون، وبقية غازات البيوت الزجاجية، فى الغلاف الجوى باعتبارها معلومات لتقليد المناخ فى القرن الأخير. يمكن أيضا استخدام توقع لتغيرات المستقبل، لكن استخدامها بهذه الطريقة يتطلب تنبؤات بتركيز غازات البيوت الزجاجية فى المستقبل باعتبارها معلومات. يتطلب توقع تركيز فى الغلاف الجوى فى المستقبل توقـــع مقدار ما سوف ينبعث من CO_2 وغازات البيوت الزجاجية نتيجة أنشطة الإنسان.

لا تخص توقعات علم الغلاف الجوى، لكنها تدريب فى التنبؤ بالميول الاجتماعية. يعتمد الانبعاث فى المستقبل على سكان العالم والنمو الاقتصادى فى المستقبل، لأن زيادة السكان وزيادة النشاط الاقتصادى يعنيان زيادة استخدام الطاقة، وزيادة الصناعة، والإنتاج الزراعى، والأنشطة الأخرى التى تولِّد الانبعاث. ويعتمد الانبعاث فى المستقبل على السياسة أيضا، وعلى الميول التكنولوجية التى تحدد كفاءة استخدام الطاقة وخليط مصادر الطاقة المستخدمة التى ينبعث منها الكربون والتى لا ينبعث منها. تقدم الخبرة التاريخية، وأيضا الأبحاث الاقتصادية والاجتماعية والديموجرافية، إطلالة على ميول المستقبل، وخاصة لاستبعاد بعض المجالات باعتبارها غير محتملة (على سبيل المثال، توقف فجائى فى نمو السكان فى مجتمع شاب، أو فترة ممتدة تجمع بين ركود النمو الاقتصادى وابتكار تكنولوجى سريع). لكن معرفتنا بالآليات الاجتماعية والاقتصادية ليست كافية للسماح بتنبؤ وحيد موثوق به بشأن الانبعاث فى المستقبل.

وبالتالى، تتمثل المقاربة التى تتبناها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فى إنتاج مجموعة من سيناريوهات الانبعاث، حيث يقدم كل سيناريو صورة معقولة بديلة متماسكة داخليا للكيفية التى يمكن أن يشكل بها تطور العالم ميول الانبعاث فى المستقبل. توسع مجموعة السيناريوهات معًا بشكل تقريبى مجال الأشكال البديلة للانبعاث فى المستقبل التى تعتبر معقولة. (بالطبع، لا يمكن لمجموعة سيناريوهات أن تغطى كل الميول المحتملة لانبعاث الغازات، حيث أنها تعتمد أيضًا على أحداث تاريخية على نطاق واسع من قبيل الحروب أو التحولات السياسية التى ليس لدينا قدرة على التنبؤ بها أو التحكم فيها.)

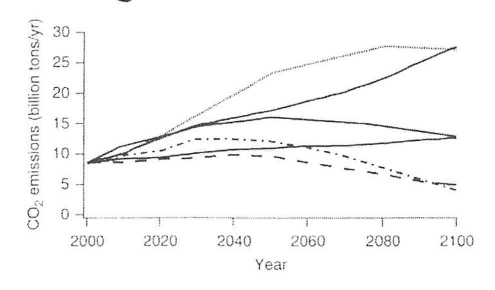
دعمت IPCC ممارسات عديدة لتطوير سيناريوهات الانبعاث فى المستقبل، وقد استخدمت لتقديم معلومات متسقة عن الانبعاث لتوجيه مشاريع نماذج المناخ. طورت ممارسة لسيناريو رئيسى فى ١٩٩٢ خمسة سيناريوهات، تشمل "حالة مرجعية" متوسطة ينمو فى ظلها الانبعاث من قيمته الأولية عند ٨ بلايين طن مترى، أو جيجا طن من مكافئ الكربون (GtCe) إلى حوالى ١٤ بليون فى ٢٠٥٠ وعشرين بليون فى ٢١٠٠.[١]

تجنبت ممارسة السيناريو الثانى فى أواخر تسعينيات القرن العشرين تحديد حالة مركزية، لكنها رسمت خطوطًا عريضة لأربعة مسارات بديلة لتطور العالم، وما مجموعه ستة "سيناريوهات بارزة" لتكون بمثابة معايير لمشروعات نماذج المناخ: سيناريو من كل مسار للتطور، بالإضافة إلى اختلافين فى الفرضيات التكنولوجية للطاقة فى مسار للتطور. افترضت كل

---

(١) الوحدات بالطن المترى (ويسمى *tonnes* أيضا)، ويساوى ١٠٠٠ كجم أو ٢٢٠٠ رطل تقريبا. التعبير عن إجمالى انبعاث غازات البيوت الزجاجية بالجيجا طن لمكافئ الكربون يعنى أن الغازات التى لا تحتوى على CO_2 تتحول إلى كمية من CO_2 لها التأثير نفسه على القوة الإشعاعية. ويقاس CO_2 هذا بكتلة الكربون، باستبعاد كتلة ذرات الأكسجين فى جزيء CO_2.

هذه السيناريوهات أنه لن يتم تبنى أفعال متفق عليها لخفض الانبعاث. يوضح الشكل ٣-١٣ الانبعاث المتوقع لثانى أكسيد الكربون بالنسبة لهذه السيناريوهات البارزة الستة خلال ٢١٠٠. واستخدمت هذه السيناريوهات المتعلقة بالانبعاث لتوجيه مشاريع نماذج تغير المناخ فى المستقبل فى كل من التقريرين الثالث والرابع الصادرين عن IPCC، المنشورين عام ٢٠٠١ وعام ٢٠٠٧. وكما يناقش الفصل الرابع، توجد الآن مجموعة من السيناريوهات قيد الإعداد تؤكد المسارات البديلة لاستقرار المناخ العالمى.



الشكل ٣-١٣ انبعاث CO_2، ببلايين الأطنان من الكربون فى العام، من سيناريوهات IPCC فى تقرير خاص عن سيناريوهات الانبعاث (SRES). الخط المنقط هو سيناريو A1FI، والخط المقطع سيناريو B1، والخط المنقط-المقطع سيناريو A1T.

المصدر: Fig. 17 of the Technical Summary, IPCC (2001a)

يغطى الانبعاث المتوقع فى هذه السيناريوهات مجالا واسعًا، من ارتفاع يصل إلى ٣٠ بليون طن إلى انخفاض يصل إلى ٥ بلايين فى ٢١٠٠. ويعكس هذا المجال الواسع الشكوك المجتمعة بشأن السكان والنمو الاقتصادى والميول التكنولوجية. على سبيل المثال، يفترض الخط المنقط، الذى يوضح انبعاثا يصل إلى ٣٠ بليون طن بحلول ٢١٠٠، استمرارا متفائلا

باعتدال للميول الحديثة- نمو سكانى منخفض نسبيا، ونمو اقتصادى مرتفع، وتقارب تدريجى للدخل بين مناطق العالم. ويفترض أيضًا أن استخدام الطاقة يبقى سائدا بالوقود الحفرى، متحولا باتجاه الفحم وأنواع الوقود الأخرى التى تحتوى على نسب عالية من الكربون مع تدهور إنتاج النفط منخفض التكلفة والغاز(١). يمثل الخط المخطط، الذى يوضح قمة الانبعاث تحت ١٠ بلايين طن فى منتصف القرن ثم ينحدر إلى حوالى ٥ بلايين بحلول عام ٢١٠٠ رؤية متفائلة لما يمكن أن يسمى مستقبل "التنمية المستدامة". يتصور النمو السكانى ذاته الذى يتصوره سيناريو الانبعاث المرتفع، ونموًا اقتصاديا أبطأ إلى حد ما لكن مع كثافة أقل للطاقة والمادة نتيجة تحول اقتصاد العالم من التصنيع إلى الخدمات والمعلومات، وأيضا التبنى السريع لتكنولوجيا الطاقة منخفضة الكربون.

يفترض الخط المنقط المخطط النمو السكانى والاقتصادى نفسه الذى يفترضه سيناريو الانبعاث المرتفع، لكنه يفترض ميولا تكنولوجية مختلفة تمامًا. بدلا من التحول إلى وقود حفرى يحتوى على نسب مرتفعة من الكربون مثل الفحم، يفترض هذا السيناريو تطورات تكنولوجية تحول إمداد الطاقة باتجاه مصادر لا يصدر عنها انبعاث. يرتفع الانبعاث فى هذا السيناريو حتى منتصف القرن حيث يصل إلى القمة (١٠-١٥ بليون طن)، ثم ينحدر حتى أكثر من السيناريو السابق- موضحا التأثير القوى للتطورات

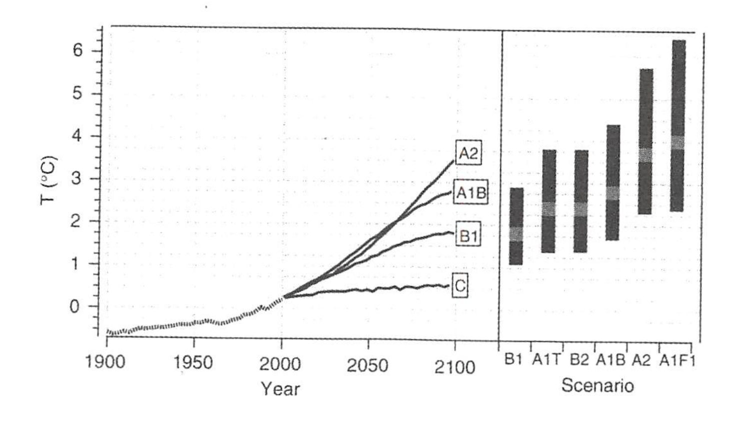
---

(١) يسمى هذا السيناريو *A1FI*. تدل *A1* على مسار التطور الأساسى بينما "*FI*" اختصار "كثافة الوقود الحفرى". يسمى سيناريو الانبعاث المنخفض *B1*، بينما يسمى سيناريو التحول إلى مصادر للوقود غير الحفرى *A1T*، (تشير "*T*" إلى التكنولوجيا المتطورة).

التكنولوجية فى تحديد الانبعاث. يقدم الفصل الرابع مزيدا من التفصيلات عن السيناريوهات، والفرضيات التى تتأسس عليها، وما تتضمنه للأفعال المحتملة.

ثمة نموذج خاص للمناخ، يستخدم سيناريو خاصا للانبعاث باعتباره معلومات، يولِّد تصورا لتغير المناخ فى المستقبل. لكن هناك حوالى ٢٠ نموذجا متطورًا جدا للمناخ قيد الاستخدام، تطور كل منها على أيدى مجموعة من العلماء، وتختلف فى مقارباتها لتقليد الغلاف الجوى. ربما تقسم الغلاف الجوى إلى صناديق مختلفة الحجم، وتركز بشكل ما على عمليات جوية معينة، أو تستخدم مقاربات حسابية مختلفة لتمثيل عمليات أساسية تتعلق بالمناخ، وخاصة تلك التى يجب أن تحديدها لأنها تعمل على نطاق أدق من أن يمثل صراحة. ونتيجة لهذه الاختلافات، تتصور النماذج المختلفة مستقبلا مختلفا للمناخ، حتى لو استعانت بسيناريو الانبعاث نفسه.

يلخص الشكل ٣-١٤ توقعات نماذج تغير المناخ على مدار القرن الحادى والعشرين بمجال من نماذج المناخ لسيناريوهات الانبعاث. توضح اللوحة اليسرى تطور درجة حرارة العالم خلال ٢١٠٠ بالنسبة لتوقع نموذج متوسط للمناخ بالنسبة لثلاثة من السيناريوهات الستة البارزة. ويوضح أيضا، فى الخط C، التصور المتوسط لارتفاع الحرارة فى المستقبل إذا توقف الانبعاث فجأة فى سنة ٢٠٠٠. ويوضح هذا الارتفاع الإضافى فى الحرارة، وقد تحقق بالفعل بالانبعاث فى الماضى نتيجة التوانى فى نظام المناخ، حوالى ٠.٤ درجة مئوية أعلى من مستوى ٢٠٠٨.



الشكل ٣-١٤ اللوحة اليسرى: متوسط اختلاف درجة حرارة السطح كما توقعته نماذج المناخ فى القرن الحادى والعشرين، مقارنة بمتوسط ١٩٨٠-١٩٩٩. يوضح الخط المنقط اختلاف درجة الحرارة المقيسة على مدار القرن العشرين، كما فى الشكل ٣-١. يثبت الخط C غازات البيوت الزجاجية عند قيم سنة ٢٠٠٠: تمثل السيناريوهات B1، A1B، A2 سيناريوهات الانبعاث المنخفض والمتوسط ومتوسط الارتفاع لغازات البيوت الزجاجية. اللوحة اليمنى: مجالات اختلاف درجة الحرارة بالنسبة للسيناريوهات الستة البارزة فى سنة ٢١٠٠. بالنسبة لكل سيناريو، المنطقة الرمادية هى أفضل تقدير، بينما توضح القضبان السوداء المجال المحتمل.

المصدر: Figure SPM.5 of IPCC (2007a)

توضح اللوحة اليمنى مجال درجات الحرارة المحسوبة للنموذج فى ٢١٠٠ بالنسبة لكل من السيناريوهات الستة للانبعاث، مع تصور "للتقدير الأفضل" أو المتوسط للمناخ بالنسبة لكل سيناريو موضحا فى وسط الخط العمودى. بوضع كل سيناريوهات الانبعاث فى الاعتبار، تتراوح توقعات أفضل تقدير من ١,٨ إلى ٤ درجات مئوية. وبوضع الشك فى كل من الانبعاث واستجابة نظام المناخ فى الاعتبار، يتراوح الارتفاع المتوقع فى

الحرارة فى القرن الحادى والعشرين من ١.١ إلى ٦.٤ درجة مئوية. ولوضع هذا فى السياق، حتى أقل ارتفاع متوقع فى درجة الحرارة، وهو يجمع بين سيناريو أقل انبعاث وأقل حساسية للمناخ، أكبر بشكل كبير من ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٠.٧ درجة مئوية فى القرن العشرين. الارتفاع الأكبر فى الحرارة، ٦.٤ درجة مئوية، يماثل ارتفاع الحرارة منذ آخر عصر جليدى.

هذه صورة واقعية. بينما يوجد مجال واسع من الشك فى مقدار ارتفاع الحرارة فى المستقبل، تتوقع كل النماذج فى ظل كل سيناريوهات الانبعاث أن يستمر ارتفاع الحرارة خلال القرن الحادى والعشرين. إذا وقع ارتفاع الحرارة فى المستقبل فى وسط المجال فى الشكل ٣-١٤، وهو ما ينبغى أن نفترض أنه النتيجة الأكثر احتمالا، أو بالقرب من قمة المجال، فإن معدل ارتفاع الحرارة على مدار القرن سيكون كبيرا. الدليل التاريخى الوحيد على تغيرات ارتفاع حرارة العالم بكبر التوقعات المرتفعة وسرعتها بالنسبة لهذا القرن سلسلة من الارتفاع والانخفاض فى الحرارة بشكل فجائى حدثت فى نهاية آخر عصر جليدى. لكن هذه التغيرات صاحبت إعادة تنظيم رئيسية فى دورة الغلاف الجوى والمحيطات، وهو ما لا يحدث الآن. وبالتالى، ربما يمثل المجال الأعلى للارتفاع المتوقع فى الحرارة فى هذا القرن تغيرا فى المناخ ليس له سابقة فى كل تاريخ الأرض.

بإيجاز، رغم الشكوك فى كل من توقعات الانبعاث ونماذج المناخ، من المؤكد عمليا أن درجة حرارة الأرض سوف تواصل الزيادة. ونحن معرضون لبعض الارتفاع فى الحرارة- حتى لو توقفنا عن انبعاث غازات البيوت الزجاجية اليوم، سوف ترتفع حرارة الأرض عدة أعشار درجة مئوية فى العقود القليلة القادمة. إذا وضعنا التطور المحتمل فى الانبعاث على مدار القرن الحالى، فإن متوسط درجة حرارة العالم بحلول نهاية هذا القرن من

المحتمل أن ترتفع من درجتين إلى أربع درجات مئوية عما هى عليه الآن، وربما أكثر – إلا إذا انخفض الانبعاث بحدة.

٣-٤ ما تأثيرات تغير المناخ؟

التغير فى متوسط درجة حرارة العالم هو المقياس المستخدم لقياس تغير المناخ، لكنه ليس ما يهتم به الناس. تغير المناخ مهم بسبب التغيرات الناجمة عنه حيث يعيش الناس، فى مناخ موضعى وطقس وتأثيراته على الناس وعلى الأشياء التى يقدرونها. وبالتالى يتطلب وصف تأثيرات المناخ توقع تغير المناخ فى مناطق وفصول معينة، حيث يشعر الناس والنظم الحساسة للمناخ بالمناخ. ولا يتطلب توقع درجة الحرارة فقط، بل يتطلب أيضًا الخصائص الأخرى للمناخ، وخاصة سقوط الأمطار. ولا يتطلب فقط توقع التغيرات فى متوسط القيم السنوية، لكنه يتطلب أيضًا توقع التغيرات فى دورتها الموسمية، وتنوعها وتطرفها.

تفرض هذه المتطلبات تحديات خطيرة على تصميم نموذج المناخ وتوقعه. والتوقعات تنتقل من المتوسط العالمى باتجاه المناطق الأصغر تقل استفادتها من استبعاد الأخطاء على نطاق أصغر، وهكذا تكبر أخطاء التنبؤ. ومن الصعب خاصة توقع سقوط الأمطار الإقليمية لأنه يمكن أن يتغير بشكل كبير فى مسافات قصيرة. التغيرات الصغيرة فى مسارات العواصف يمكن أن تحوّل جذريا موضع سقوط الأمطار وتوزيعها الموسمى. ويتطلب توقع تأثيرات المناخ أيضا تقدير استجابات النظم البيئية والموارد الحساسة للمناخ، مما يضيف مزيدًا من الشك على التوقعات. بالإضافة إلى ذلك، إن كثيرا من المجالات التى يحتمل أن يؤثر فيها المناخ مثل الزراعة والغابات التجارية.

تسود المعالجة الإنسانية للنظم، ومن ثم يتطلب تقييم تأثيرات المناخ تأمل استجابات الإنسان لتغير المناخ. ونناقش هذه القضية الأخيرة، والأبعاد الاجتماعية الاقتصادية الأخرى المتعلقة بالتأثيرات والتكيف، فى الفصل التالى. ونركز هنا على التأثيرات البيوفيزيائية المباشرة لتغير المناخ الذى يمكن توقعه دون أن نضع استجابة الإنسان فى الحسبان.

رغم كل الصعوبات فإننا نعرف بعض الأشياء عن تأثيرات تغير المناخ. نعرف أن بعض التأثيرات ضار وبعضها مفيد، والكثير منها مزيج- يضر بعض الناس أو الأماكن أو الأنشطة، ويفيد آخرين. توحى معظم تحليلات التأثيرات بأن التأثيرات الضارة من المحتمل أن تفوق التأثيرات المفيدة، بقدر ضئيل فى الأماكن الغنية، المنضبطة جيدا، والقابلة للتكيف، وبقدر كبير فى الأماكن الأقل حظًا. إذا كانت تغيرات المناخ كبيرة أو تحدث بسرعة، فإن التأثيرات الضارة يحتمل أن تفوق التأثيرات المفيدة باطراد، حتى فى الأماكن الغنية والمنضبطة جيدا. عمومًا، تختلف المعرفة كثيرا عبر أنواع التأثير: بعضها مفهوم بشكل جيد تماما، وبعضها غير مفهوم. وربما تكون هناك روابط معقدة، لم تعرف حتى الآن، ضمن النظم الحساسة للمناخ التى تخلق الهشاشة لتغير المناخ.

حيث يكون فهم التأثيرات جيدا، غالبًا ما يرجع ذلك إلى أن التأثيرات الإقليمية أو حتى الموضعية ترتبط بقوة بالتغيرات العالمية بعمليات فيزيائية معروفة جيدًا. ثمة مثال واضح بشكل خاص وهو ارتفاع مستوى البحر. المناخ الذى ترتفع حرارته يرفع فيه مستوى البحر، من خلال التمدد الحرارى لمياه البحر وذوبان أنهار الجليد. يوضح الشكل ٣-١٤ مجال

ارتفاع الحرارة العالمية الذى يتوقع أن يتسبب فى مزيد من ارتفاع مستوى البحر بمقدار ١٨-٥٩سم بحلول عام ٢١٠٠. وحيث أن ارتفاع نصف متر فى المستوى العالمى للبحر، بشكل تقريبى، يعنى ارتفاعا بمقدار نصف متر فى كل السواحل، يمكن بسهولة تقييم ما يعينه ذلك فى أى موضع محدد، وإن يكن بشكل تقريبى. يعتمد مدى الخطورة التى سيكون عليها الوضع فى كل مكان على عوامل موضعية، مثل كمية اليابسة الساحلية المنخفضة، الاستيطان وأنماط استخدام اليابسة، وقيمة الممتلكات، والموارد المتاحة لتحقيق مزيج مناسب من حماية السواحل وتراجع منظم.

هذا المجال لتوقعات ارتفاع مستوى البحر لا يشمل أية مساهمة من الفقدان المحتمل لألواح جليدية رئيسية فى جرينلند وغرب أنتاركتيكا. هذه الألواح الجليدية، ويبلغ سمكها آلاف الأقدام، يحتوى كل منها على كمية من المياه تكفى لارتفاع مستوى البحر بمقدار ٤-٦م (حوالى ١٣-٢٠ قدما). ومن المعروف أنه أثناء آخر فترة دافئة بين العصور الجليدية كان مستوى البحر أعلى بمقدار ٤-٦م مما هو عليه اليوم، مما يوحى بفقد الجليد على نطاق واسع من إحدى هذه الألواح أو من الاثنين. وحيث أن درجة الحرارة المتوقعة فى الحرارة فى هذا القرن تساوى درجة الحرارة فى آخر عصر بين العصور الجليدية أو تزيد، فإن هذا الارتفاع فى الحرارة ربما يرفع مستوى البحر عدة أمتار - **فى النهاية**. يتعلق الشك الرئيسى، مع ذلك، بالسرعة التى يحدث بها هذا، لأن الاستجابة الديناميكية لهذه الألواح الجليدية فيما يتعلق بارتفاع الحرارة غير مفهومة جيدًا. الاحتمال الأفضل أن تذوب ببطء فى موضعها، مثل المكعبات الجليدية الهائلة. فى هذه الحالة، إذا وضعنا فى الاعتبار القصور

الحرارى الهائل للجليد، ربما يستغرق الأمر ألف سنة أو أكثر لتذوب أنهار الجليد بالكامل. بشكل بديل، يمكن للألواح أن تهتز بعمق بارتفاع الحرارة. إحدى الآليات المحتملة أن الماء الذائب، الذى يتكون على قمة نهر الجليد أثناء الصيف، يمكن أن يذوب خلال اللوح الجليدى ويصل إلى الأعماق. وهناك، يرفع الحرارة ويدفع واجهة الصخرة الجليدية ويسمح لنهر الجليد بالتدفق بسرعة أكبر إلى المحيط. هناك اقتراحات حديثة- ومثيرة للخلاف- بأن مثل هذه العمليات يمكن أن تؤدى إلى ارتفاع مستوى البحر بما يصل إلى بضعة أمتار فى هذا القرن. وإذا وضعنا فى الاعتبار الثقة الحالية المنخفضة بشأن آليات فقدان هذه الألواح الجليدية ومعدله، استبعدت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ببساطة مساهماتها المحتملة فى توقعاتها بشأن ارتفاع مستوى البحر فى القرن الحادى والعشرين.

ثمة تأثير آخر يرتبط بقوة بالتغيرات على النطاق العالمى يأتى مباشرة من ارتفاع CO_2 فى الغلاف الجوى، وليس من تأثيره على المناخ. حوالى نصف CO_2 المنبعث إلى الغلاف الجوى تمتصه المحيطات بسرعة، حيث يتحول إلى حمض الكربونيك، الحمض الضعيف نفسه الموجود فى المشروبات الغازية. وثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى يواصل الارتفاع، من المؤكد حقا أن المحيطات سوف تصبح أكثر حموضة. وربما يكون لهذا نتائج حادة بالنسبة للأنظمة البيئية فى المحيطات، من خلال إعاقة تكوين أصداف كربونات الكالسيوم والهياكل العظمية التى تعتمد عليها الكثير من الكائنات البحرية، بما فى ذلك الشعب المرجانية.

تتطلب معظم التأثيرات الأخرى فحص توقعات المناخ على نطاق إقليمى أدق نسبيا، مع وضع الطبوجرافيا الموضعية والنظم البيئية والمناخ الحالى فى الاعتبار. قد تختلف نتائج ارتفاع درجات الحرارة بضع درجات اختلافا كبيرا اعتمادا على إن كانت تحدث فى غابة أو فى صحراء. ورغم ازدياد الشك فى توقعات المناخ على المستوى الإقليمى الأصغر، فإن بعض النتائج الإقليمية العامة راسخة جيدا الآن، لأنها تبدو متسقة عبر الكثير من توقعات نماذج المناخ ومؤسسة على مبادئ فيزيائية أساسية. على سبيل المثال، من المؤكد تماما أن حرارة القارات سوف ترتفع أكثر من المحيطات، نتيجة التأثير الملطف للسعة الحرارية الهائلة للمحيطات. تتوقع نماذج المناخ أن تكون درجة الحرارة فى شمال أمريكا الشمالية وأوراسيا أعلى من المتوسط العالمى بأكثر من ٤٠%. تشمل أخرى موثوق فيها أن تتعرض معظم مساحات اليابسة أكثر لأيام وليالى حارة جدا وموجات حارة؛ وأن يكون ارتفاع الحرارة أكبر فى الليل من النهار وأكبر فى الشتاء من الصيف، وهكذا يقل مدى درجات الحرارة اليومية والسنوية؛ وأن يكون ارتفاع الحرارة أكبر فى خطوط العرض المتوسطة والمرتفعة، وخاصة فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية، أكثر من المناطق الاستوائية.

إن مناطق القطب الشمالى والمناطق القريبة منه تتعرض بالفعل لارتفاع شديد فى الحرارة، مع تأثيرات حادة على الكثير من الموارد والأنشطة. لقد أدى ذوبان الجليد، تراجع جليد البحر وانخفاض سمكه من الزيادة الناجمة فى تآكل السواحل واضطراب النظم البيئية البحرية، وقصر

مواسم انتقال الثلوج فى البحيرات والأنهار، إلى اضطراب هائل. ومن المرجح أن تزداد سرعة هذه العمليات فى ظل الارتفاع الإضافى الكبير المتوقع فى الحرارة فى مناطق القطب الشمالى فى هذا القرن. تتوقع كل نماذج المناخ تراجعا مستمرا لجليد البحر فى القطب الشمالى خلال القرن، وسيصبح القطب الشمالى خاليا تماما من الجليد فى الصيف ربما خلال بضعة عقود. لفقدان جليد البحر فى القطب الشمالى فى الصيف نتائج تتعلق بالدورة العالمية للمحيطات والمناخ ومن المحتمل أن تكون نتائج هائلة، رغم عدم فهمها حتى الآن.

بالإضافة إلى ذلك، سيكون للمحيط القطبى الشمالى الصالح للملاحة بشكل جزئى تأثيرات هائلة على الملاحة، وتطور مناطق القطب الشمالى، والعمليات العسكرية والأمن. وربما يحدث هذا حتى بشكل أسرع مما تتوقع النماذج. فى صيف ٢٠٠٧، ذاب قدر كافٍ من الجليد لفتح "الممر الشمالى الغربى" عبر الجزر الكندية فى القطب الشمالى. ومن الطبيعى ألا يتمكن من عبور هذا الممر إلا كسارات الجليد، وهو طريق من القطب الشمالى إلى المحيط الهادئ، أو من الساحل الشرقى إلى الساحل الغربى لأمريكا الشمالية، أقصر بكثير من الإبحار عبر قناة بنما أو حول كيب هورن. إذا وضعنا فى الاعتبار المزيد من الارتفاع شبه المؤكد فى حرارة القطب الشمالى، فسيكون من المرجح تمامًا أن يبقى هذا الممر مفتوحًا، وفى القريب قد يبقى مفتوحًا كل سنة. فقدان جليد البحر فى القطب الشمالى ربما يكون بداية للاندفاع إلى استغلال موارد طبيعية كان الوصول إليها مستحيلا من قبل، بما فى ذلك احتياطيات هائلة من البترول والغاز، مما يحمل احتمالا كبيرا للصراع

الدولى. فى ٢٠٠٧، ادعت روسيا الحق فى موارد القطب الشمالى بوضع علم علـــى قاع المحيط بالقرب من القطب الشمالى، وهو ادعاء عارضته كندا والدنمرك.

فى مناطق القارات عند خطوط العرض المتوسطة من المتوقع أن تتعرض لارتفاع كبير فى الحرارة (على سبيل المثال، ٣-٦ درجات مئوية على أرض الولايات المتحدة)، رغم اختلاف التوقعات تمامًا بشأن كيفية توزيع متوسط هذا الارتفاع فى الحرارة عبر القارات. سوف تؤدى درجات الحرارة الأعلى فى الصيف والرطوبة الأعلى معًا إلى زيادة كبيرة فى مؤشر حرارة الصيف، وهو مقياس يجمع بين الحرارة والرطوبة لتقدير الإحساس بمدى سخونة الجو. تتوقع بعض النماذج زيادة تصل إلى ٥-١٤ درجة مئوية فى مؤشر الحرارة فى يوليو فى جنوب شرق الولايات المتحدة. إذا كنت تعيش هناك، تعرف سوء ذلك.

رغم صعوبة تقليد هطول الأمطار فى نماذج المناخ، يتوقع بثقة حدوث بعض التغيرات فى هطول الأمطار. من المرجح تماما أن يزيد هطول الأمطار فى خطوط العرض المرتفعة ويقل فى المناطق شبه القارية (خطوط عرض من ٢٠ إلى ٣٠، حيث تقع الصحراوات الكبرى فى العالم)، مواصلا الميول الحديثة. ويتواصل أيضا الميل الذى حدث فى القرن العشرين، من المرجح أن ينهمر المطر بأغزر ما يكون، مما يؤدى إلى مزيد من التآكل وزيادة أخطار الفيضانات والانهيارات الأرضية. حين ينهمر المطر بغزارة شديدة، يتدفق معظمه وتمتص التربة قدرًا أقل أو يخزن فى الخزانات. متحدًا مع درجات الحرارة الأعلى فى الصيف، التى تزيد من فقدان الماء من التربة

من خلال البخر، يؤدى هذا إلى التوقع المدهش بأن أقصى درجات الرطوبة وأقصى درجات الجفاف تكون أكثر احتمالا: أقصى درجات الرطوبة، مع ما يصاحبها من أخطار الفيضانات، وزيادة التآكل، والانهيارات الأرضية؛ وأقصى درجات الجفاف، مع ما يصاحبه من أخطار نقص المياه، وضياع المحاصيل، والحرائق الهائلة، وزيادة قابلية تعرض المحاصيل والغابات للأوبئة والأمراض.

فى بعض الحالات، ربما تتضح النتائج العريضة لهذه التأثيرات البيوفيزيائية المباشرة لتغير المناخ العالمى على شئون الإنسان. وفى حالات أخرى، يتطلب فهمها تحليلا تفصيليا لسلوك النظم الحساسة للمناخ. على سبيل المثال، من الواضح أن التغيرات فى كمية الأمطار وموضعها وتوقيتها يمكن أن توفر الماء العذب، لكن التوقعات الكمية لتغيرات المياه العذبة ونتائجها يتطلب دراسة تفصيلية للنظم الخاصة بالمياه، بما فى ذلك كيفية تعامل البشر معها.

تقدم دراسة عن تأثيرات المناخ على نهر كولومبيا فى الولايات المتحدة شمال غرب المحيط الهادئ مثالا مهمًا لنوع التحليل المطلوب. بينما توقعتْ تغيراتٍ فى هذا القرن فى مجمل الأمطار السنوية وأن يكون تدفق المياه فى نهر كولومبيا قليلا، فقد توقعت أن مواسم شتاء أكثر رطوبة وحرارة ومواسم صيف أكثر سخونة وجفافا من المرجح أن تحول النمط الموسمى لتدفق المياه. وحيث أن معظم المياه تتدفق فى نهر كولومبيا من ذوبان الجليد المتراكم فى الشتاء، فإن تدفقه يبلغ الذروة الآن فى أواخر الربيع. وفى ظل مواسم الشتاء التى يُتوقَّع أن ترتفع فيها الحرارة، فإن معظم ما ينهمر فى

الشتاء سيكون مطرا لا ثلوجًا، مما يؤدى إلى زيادة تدفق المياه فى الشتاء حيث تكون المياه غزيرة بالفعل فى المنطقة، ويقل فى الصيف، حيث تكون المنطقة نادرة المياه بشكل حاد. ومن المرجح أن تحدث تغيرات مماثلة فى مناطق أخرى تحصل على حاجتها من المياه أثناء الصيف الجاف بالاعتماد على الأنهار التى تغذيها الثلوج، مما يلقى الضوء ليس فقط على أهمية فحص مجمل كمية المياه السنوية المتوفرة، بل وفحص التدفق الموسمى أيضًا.

مما لا شك فيه أن تغير المناخ سوف يؤثر على النظم البيئية الطبيعية أو التى لا يمكن السيطرة عليها. يتأثر توزيع النباتات والحيوانات وأنواع الميكروبات بعوامل كثيرة، لكن المناخ محدِّدٌ رئيسى. سوف يؤثر المناخ المتغير على الكثير من أوجه التكاثر والسلوك وقابلية الأنواع للحياة بطرق مختلفة، ومن ثم يغير المجال الفضائى للنوع والعلاقات بين الأنواع. تتوفر أدلة كثيرة على أن هذه التغيرات جارية بالفعل استجابة للتغير الحديث فى المناخ، بما فى ذلك تحولات مجالات الأنواع باتجاه القطبين وخطوط العرض الأعلى، وتغيرات فى توقيت الأحداث الموسمية من قبيل ازدهار أوراق الأشجار وسقوطها، ووضع البيض.

فى ظل التغير المستمر فى المناخ، لن تنتقل النظم البيئية الحالية سليمة ببساطة إلى مواضع جديدة لتتتبع المناخ الملائم لها. فى الحقيقة، سوف يتأثر كل نوع فى النظام البيئى بطرق خاصة. قد يهاجر البعض بسهولة، بينما قد تعجز أنواع أخرى عن الحركة بسرعة تكفى للسير خطوة بخطوة مع المناخ المتغير. سوف تتواءم مجالات الأنواع بمعدلات مختلفة وبعمليات مختلفة، فى حالات كثيرة تخضع لتدخل الإنسان ولقيود مثل تغير استخدام اليابسة، والحواجز، والنقل الدولى أو العشوائى.

سوف تكون النتيجة النهائية اضطراب النظم البيئية الحالية بشكل مستمر وإعادة تنظيمها، مع علاقات جديدة بين المقيمين والواصلين الجدد الذين يعاد توطينهم باستمرار في كل مكان. في بعض الحالات، ربما تكون التجمعات الجديدة مماثلة بشكل كبير للنظم الحالية بحيث لا يكون الاعتقاد بأن النظم الحالية تتحول ببساطة (على سبيل المثال، تتحول الغابات الخليط المعتدلة شمالا في المنطقة الجليدية الشمالية الحالية) مضللا جدًّا. ومع ذلك، في حالات أخرى ربما تكون النظم الجديدة مختلفة عن النظم البيئية الحالية، عارضة علاقات جديدة بين الأنواع، أو انقراض أنواع تنتشر في نطاق جغرافي أو مناخي ضيق، أو أمور بيئية أخرى تثير الدهشة. النتائج بالنسبة لخدمات النظم البيئية من قبيل حجز المياه ودورة الغذاء، وبالنسبة لمتع النظم البيئية من قبيل فرص لاستخدامات الإنسان والاستجمام، من المرجح أن تكون جوهرية. ومن المرجح أن تُفقَد بعض أنواع النظم البيئية تمامًا، نتيجة القيود أو الحدود الفيزيائية على حركة أنواع أساسية، أو الفقد الكامل للظروف المناخية المطلوبة. في الولايات المتحدة، تشمل النظم البيئية المهددة بالفقد الكامل أو بما يقترب منه، النظم الشاهقة في الولايات الثماني والأربعين المنخفضة، وأشجار المنجروف على الساحل والصخور الساحلية.

ثمة عامل مهم بشكل خاص في تأثيرات نظم المناخ وهو معدل تغير المناخ. تكيفت النظم البيئية مع اختلافات المناخ في الماضي، لكن تغيرات الماضي كانت عمومًا أبطأ بكثير من تلك المتوقعة بالنسبة للقرن الحالي. من المؤكد حقا أن النظم البيئية سوف تتكيف بسهولة أقل مع التغيرات السريعة المتوقعة من تكيفها مع التغيرات البطيئة في آخر بضعة آلاف من السنين. ما هو موضع شك هو مقدار قلة السهولة، والنتائج المصاحبة لها.

النظم التى تدار لاستخدام الإنسان، مثل الزراعة والغابات التجارية، والمراعى والأنظمة المائية والبحرية (مصائد الأسماك... إلخ)، حساسة أيضًا للمناخ والتغيرات المرتبطة به، لكن إدارة البشر تهيمن عليها. ولهذا نتيجتان بالنسبة للتأثيرات المتوقعة لتغير المناخ، تعملان فى اتجاهين متضادين. من ناحية، ربما يكون لاضطراب هذه النظم نتيجة تغير المناخ تأثيرات شديدة على الإنسان لأننا نعتمد عليهم بقدر كبير جدًا. ومن الناحية الأخرى، تقدم القدرة على مواءمة ممارسات الإدارة للظروف المتغيرة احتمالية تعديل هذه التأثيرات الضارة. وسنناقش القضايا المرتبطة بتأثيرات المناخ والتكيف فى الفصل التالى.

يمكن أن نلخص بشكل تقريبى المعرفة الحالية بشأن تأثيرات تغير المناخ على النحو التالى. بالنسبة للبلاد الغنية فى خطوط العرض المتوسطة مثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان، ربما تتراوح تأثيرات المناخ فى هذا القرن من تأثيرات صغيرة إلى شديدة. ومع أن هذه البلاد تتمتع بقدرة كبيرة مالية وتكنولوجية وإدارية وسياسية على التكيف مع التأثيرات الضارة- إلا إذا وقع تغير المناخ بالقرب من قمة المجال المتوقع الموضح فى الشكل ٣-١٤، وفى هذه الحالة حتى هذه البلاد من المرجح أن تواجه تحديات خطيرة. البلاد الأفقر، وتقع غالبًا فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، من المتوقع أن تواجه تغيرات مناخية مختلفة فى التفاصيل لكنها على الأقل تحتاج إلى تحديات بقدر ما تحتاج تلك المتوقعة بالنسبة للبلاد الواقعة على خطوط عرض متوسطة. ولأن هذه البلاد لديها موارد أقل للتكيف مع التأثيرات، فإن النتائج بالنسبة لها ربما تكون شديدة حتى بالنسبة لتغير المناخ بالقرب من النهاية الدنيا للمجال المتوقع.

بالإضافة إلى ذلك، من المهم جدا أن نلاحظ أن تغير المناخ، مع أن معظم الرسوم البيانية فى القسم ٣-٣ تتوقف فى ٢١٠٠، لا يتوقف عندها. فى ظل كل سيناريوهات الانبعاث غير المقيد، يستمر CO_2 فى الغلاف الجوى ودرجات الحرارة فى الارتفاع بعد سنة ٢١٠٠. ورغم زيادة الشكوك بشأن توقعات المناخ ونحن نتطلع أكثر إلى المستقبل، فإن التحليلات التى نظرت إلى ما بعد ٢١٠٠ توحى بأن تغير المناخ وتأثيراته سوف تزداد بشدة. هناك أدلة متنامية على فوائد نمو النباتات من ارتفاع CO_2 على مدار الزمن وهو يواصل الارتفاع، بينما تستمر التأكيدات من تغير المناخ فى الزيادة, وبالتالى، إلا إذا كان هناك مستوى متطرف من التقدم التكنولوجى والاقتصادى يحررنا من الاعتماد على أى شيء يشبه المحاصيل فى الحقول أو الغابات الطبيعية نسبيا- وهو ربما يحدث بشكل جيد، حيث أن ١٠٠ سنة يمكن أن تجلب معها تغيرات اقتصادية وتكنولوجية هائلة- تبدو تأثيرات التغيرات غير المحدودة فى المناخ بعد ٢١٠٠ خطيرة بشكل متزايد ولا يبدو أن هناك احتمالا لمعالجتها، حتى بالنسبة للبلاد الغنية فى العالم.

أخيرًا، من الضرورى أيضًا نفكر فى احتمالية مفاجآت المناخ: عواقب شديدة، أو تغيرات فجائية محتملة تبدو غير مرجحة تمامًا (لكن لا يمكن استبعادها)، أو قد نفشل تماما فى التنبؤ بها. من أمثلة هذه الأحداث المتطرفة المحتملة، كما ناقشنا من قبل، الفقدان السريع للوح جليدى أساسى فى جرينلند أو غرب أنتاركتيكا، مما يرفع مستويات سطح البحر فى العالم عدة أمتار على مدار القرن. سيمثل الغمر الناتج للمناطق الساحلية على نطاق العالم كارثة بيئية وإنسانية لا يمكن تصورها. وتشمل الأحداث الأخرى المتطرفة

المحتملة التى تم افتراضها إعادة التنظيم على نطاق واسع لدورة المحيطات، أو تغذية رجعية إيجابية كبيرة تربط ارتفاع الحرارة بالتغيرات فى الدورة العالمية للكربون. بالنسبة لكل هذه الحالات، يرى حاليا معظم الخبراء الذين لهم علاقة بالموضوع أن هذه الأحداث من غير المرجح أن تحدث فى هذا القرن، لكن احتمال حدوثها غير مفهوم ولا يمكن تجاهلها بوضوح.

٣-٥ المقولات المضادة:

لخص هذا الفصل حالة المعرفة فى المسائل العلمية الأساسية التى تدعم الاهتمام بتغير المناخ، بما فى ذلك الأدلة على ارتفاع حرارة الأرض، وعلى أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية من أنشطة الإنسان يمثل السبب الرئيسى، وأن ارتفاع الحرارة سوف يستمر على مدى القرن الحالى، ورغم الشك فى المعدل والتفاصيل المتعلقة بالمناطق بشأن تغير المناخ فى المستقبل، هناك خطر كبير لحدوث تأثيرات خطيرة وربما حادة. ننهى الفصل بملاحظة أن هناك تصريحات شائعة على نطاق واسع فى مناظرات سياسة المناخ تنكر كل هذه النقاط. ويعلن هذه التصريحات أحيانا ممثلو السياسة الذين يعارضون القيام بإجراءات بشأن تغير المناخ، وأحيانا أناس معهم شهادات علمية يدعون التعبير عن انتقادات علمية، كثيرا ما يوصفون بأنهم "المتشككون فى تغير المناخ" أو "ناكرو تغير المناخ". لا يؤكدون فقط أن الرأى الشائع عن تغير المناخ، الملخص سابقا، خطأ، بل يؤكدون أيضا على أن الإجماع العلمى المفترض فى هذه النقاط لا يوجد فعليا، لكنه محاولة لقمع المعارضة العلمية المشروعة لصالح أجندة سياسية نشطة.

فى هذا القسم، نراجع القليل من أبرز هذه المقولات ونناقش السبب الذى يجعلنا نعتقد بثقة أنها خطأ. والمرء يقرأ هذا القسم، هناك تحذيران. الأول: إننا لا نجادل فى أن المعرفة الحالية عن المناخ كاملة. هناك الكثير من الشك والمعارضة فى علم المناخ، كما هو الحال فى أى حقل علمى نشط، حيث يعثر المرء على المسائل المهمة التى يهتم بها العلماء. لكن هناك أيضًا الكثيــر مــن النقاط بشأن علم المناخ معروفة بثقة عظيمة. التحذير الثانى: لا نرى أن التساؤلَ بشأن المعرفة العلمية ذات المخاطر المرتفعة بالنسبة لرفاهية الشعب وعمله، حتى بالنسبة للنقاط التى يبدو أنها راسخة تماما، انعدامٌ للمسئولية أو الأمانة. يمكن للتعليقات التى تحمل انتقادات شديدة أن تكون قيمة فى تحديد نقاط الضعف فى الفهم الحالى- حين تتأسس على معرفة مناسبة وتستخدم المعايير العلمية للمناقشة- وحتى الفرضيات الغريبة يتبين أحيانًا أنها صحيحة (مع أنها ليست صحيحة عادة).

لكن المقولات الرئيسية التى تشكك فى المناخ، فى معظمها، لا تتطور بأسلوب أو وضع يقدم أية نظرة للمساهمة فى المناظرة، أو تلقى الضوء على فرضيات لم تختبر، أو مطورة معلومات. إنها لا تقدم عادة فى ساحات علمية على الإطلاق، لكن فى مقالات صحفية، أو فى الإنترنت، أو منافذ أخرى حيث معايير الأدلة والجدل ضعيفة وليست هناك مراجعة من الرفاق. قد تبدو مقنعة، لأنها قد تبدو معقولة لغير المطلعين على المناظرات العلمية ولأنها تصاحب غالبا بمجادلات سياسية واسعة أو أدوات بلاغية قوية من قبيل الخطب التحريضية أو هجمات طبقا للأهواء الشخصية. فى حالات قليلة قدمت انتقادات تبين عند فحصها أنها صحيحة، لكنها غير مهمة. فى أخرى،

استخدمت بيانات منحازة من قبيل موعد بداية ونهاية بشكل انتقائى لمقولات الميول، أو قدمت مقولات غير مدعومة، وغريبة، وسبق رفضها، أو واضحة الخطأ. غالبا ما أعطى ميل وسائل الإعلام لخلق توازن بشكل غير نقدى بين الآراء المتعارضة هذه المقولات الهامشية واضحة الخطأ المكانة نفسها التى يعطيها للآراء العلمية المدعومة التى تحظى بالإجماع.

تنتشر كثير من هذه المقولات، وتتغير عبر الزمن. هنا، نلخص بعض أبرز هذه المقولات التى قدمت باعتبارها مقولات علمية خلال آخر بضع سنوات، ونشرح لماذا نؤمن بثقة (أو فى بعض الحالات بشكل مؤكد) أنها خطأ.

مقولة ١: حرارة الأرض لا ترتفع، أو ارتفاع حرارة العالم توقف.

انتشرت المقولات التى تنكر الدليل على أن حرارة الأرض ترتفع بشكل مستمر إلى حد ما لعقود، لكن صيغتها الدقيقة تطورت عبر الزمن والأدلة على ارتفاع الحرارة تتراكم. حتى بضع سنوات مضت، أنكر بعض المؤيدين لهذه المقولات ببساطة تعرض الأرض لأى ارتفاع فى الحرارة على الإطلاق. ودُعِمتْ هذه المقولة أحيانا بتحليل مناطق صغيرة حيث يحدث انخفاض فعلى فى درجة الحرارة. لا تصح هذه المناطق دليلا على الميول العالمية مع ذلك، لأن الميول فى مناطق صغيرة يمكن أن تختلف بشدة عن الميول العالمية، وربما تمضى حتى فى الاتجاه المضاد. وكثيرًا ما دُعِمت المقولة أيضا بتحليلات مبكرة لبيانات الأقمار الصناعية، المنشورة فى منتصف تسعينيات القرن العشرين، وقد كشفت عن ميل عالمى لانخفاض الحرارة فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى. لكن المزيد من فحص هذا الميل المستنتج عن بيانات الأقمار الصناعية كشف عدة أخطاء خطيرة فى

النتائج المبكرة، مثل الفشل فى التصويب بالنسبة للتغيرات فى مدار القمر الصناعى. أدى تصويب هذه الأخطاء، بالإضافة إلى تراكم المزيد من البيانات عبر السنوات، إلى اتفاق معقول بين سجلات الأقمار الصناعية وسجلات ترمومترات السطح، ويظهر الاثنان ارتفاعًا فى الحرارة، كما ناقشنا ذلك فى القسم ٣-١-٦.

يعترف التنوع الأحدث لهذه المقولة بأن حرارة الأرض ارتفعت فى القرن الماضى، لكنها تقول إن ذلك الارتفاع فى الحرارة توقف فى ١٩٩٨- أو حتى، فى حالات متطرفة، إن الأرض منذ ١٩٩٨ دخلتْ فترة جديدة من انخفاض الحرارة، وربما تتجه إلى عصر جليدى آخر. من الصحيح أن سنة ١٩٩٨ كانت سنة حارة بشكل استثنائى، ربما نتيجة النينو الأكبر فى القرن العشرين. منذ سنة ١٩٩٨ لم تأت سنة أعلى حرارة منها، رغم إن ٢٠٠٥ تساوت معها[١].

لكن حتى لو لم تأت سنة تتساوى فى درجة الحرارة مع سنة ١٩٩٨، فإن ذلك لا يعنى أن "الارتفاع العالمى فى الحرارة" توقف. بالإضافة إلى الميل الجارى فى ارتفاع الحرارة طويل المدى، يتذبذب متوسط درجة حرارة العالم من سنة إلى سنة، نتيجة للنينو والأشكال الأخرى من تنوع المناخ. فى السنوات الحديثة كان الميل لارتفاع الحرارة بمقدار ٠,٢ درجة مئوية فى العقد أو ٠,٠٢ درجة مئوية فى السنة، بين الاختلافات من سنة إلى سنة حوالى ٠,١-٠,٢ درجة مئوية فى السنة- أكبر من خمسة أضعاف إلى عشرة أضعاف. وبالتالى،

---

(١) ثمة اختلافات صغيرة بين السجلان المعياريان لميول درجة حرارة العالم. يوضح سجل *GISS* (*NASA*) أن الحرارة فى ٢٠٠٥ أعلى قليلا من ١٩٩٨ لكن فى القضبان الخطأ، بينما يتم ربط ٢٠٠٧ مع ١٩٩٨؛ يوضح سجل مركز هادلى (المملكة المتحدة) أن سنة ٢٠٠٥ وسنة ٢٠٠٧ أقل حرارة بقليل من سنة ١٩٩٨، الاثنان أيضا فى القضبان الخطأ.

على مدار فترة لا تتجاوز بضع سنوات، يمكن أن تفوق الاختلافات الكبيرة من سنة إلى سنة الميل طويل المدى. وكانت هناك مرات كثيرة منذ القرن التاسع عشر لا يتم تجاوز سنة متطرفة لمدة عقد آخر أو نحو ذلك.

على مدار فترات أطول، يصل معدل الاختلافات من سنة إلى أخرى إلى صفر، بينما يستمر ارتفاع حرارة العالم إلى دفع درجة الحرارة إلى أعلى. على مدى فترات من عدة عقود، تتفوق إشارة ارتفاع حرارة الأرض على الاختلاف الداخلى. وهذا ما يجعل العلماء يحللون دائما سلسلة الزمن، ويبلغ طولها عدة عقود ليقيموا تأثير تغير المناخ. بالتأكيد ليس على المرء أن يعتمد على استنتاجات من بضع سنوات جاءت مباشرة بعد سنة شديدة الحرارة مثل ١٩٩٨. فى الحقيقة، يوضح الشكل ٣-١ أن ارتفاع الحرارة استمر، وأن درجة الحرارة المرتفعة التى كانت استثنائية فى ١٩٩٨ تصبح معتادة بسرعة، ومن المرجح تمامًا سوف تتجاوزها سريعًا سنوات أكثر حرارة.

لاحــظ أن كل هذه الصور لمقولة أن حرارة الأرض لا ترتفع (حين لا تكون خطأ ببساطة) تتأسس على انتقاء جزء صغير من البيانات المتوفرة- مصدر واحد للبيانات، أو منطقة محدودة، أو بضع سنوات بعد سنة استثنائية- وتدعى أن هذا يدحض الأدلة فى بقية السجل. وهذا الاستخدام الانتقائى للبيانات يجعل كل هذه المقولات مضللة أو خطأ. يعتمد استنتاج أن حرارة الأرض ترتفع على حجم هائل من بيانات مصادر متعددة، على الأرض كلها فى فترة ممتدة، ولا يمكن دحض هذا الاستنتاج بهذا الانتقاء المحدود من البيانات.

المقولة ٢: ربما ترتفع حرارة الأرض، لكن السبب اختلاف المناخ، أو زيادة كثافة ضوء الشمس، أو عملية طبيعية أخرى- وليس أنشطة الإنسان.

يقبل هذا الجدل أدلة ارتفاع حرارة الأرض، ويرفض نسبتها إلى أسباب تتعلق بالإنسان. مثل المقولة التى تنكر حدوث ارتفاع الحرارة، تأتى هذه المقولة فى بضع صيغ مترابطة. تقبل صيغة أن ارتفاع الحرارة يحدث نتيجة CO_2 فى الغلاف الجوى، لكنها تقول إن زيادة CO_2 فى الغلاف الجوى ناتجة عن مصدر طبيعى، وليس نتيجة استخدام الوقود الحفرى. وهذه المقولة تتعارض مع كل الأدلة المتوفرة. يمكن ملاحظة الانبعاث من الوقود الحفرى يدخل فى الغلاف الجوى، والزيادة فى الغلاف الجوى تساوى مصدر الوقود الحفرى فى الكمية، وخليط النظائر، والتوقيت. لتكون زيادة CO_2 فى الغلاف الجوى عملية طبيعية، ينبغى أن تكون عملية توقيتها وكميتها قد اقتفت بدقة استخدام الإنسان للوقود الحفرى، وينبغى أن تأتى بتفسير لمكان غير الغلاف الجوى، ذهب إليه كل الكربون الناتج عن احتراق الوقود الحفرى. وهذا بلا معنى على الإطلاق.

تقبل الصيغ الأخرى لهذه المقولة زيادة CO_2 فى الغلاف الجوى باعتباره من عمل الإنسان، لكنها ترفض اعتبار هذه الزيادة سببا للتغير الملحوظ فى المناخ. يتطلب هذا سببًا طبيعيًا بديلا لهذا الارتفاع الملحوظ فى الحرارة، ومن هذه الأسباب هناك اثنان أكثر شيوعًا: الاختلاف الطبيعى، وزيادة نشاط الشمس. رأى مؤيدو الاختلاف الطبيعى أن ارتفاع الحرارة فى القرن العشرين خروج مستمر من آخر ذروة عصر جليدى منذ ٢٠٠٠٠

سنة، أو خروج من فترة برودة حديثة استمرت لعدة قرون تسمى "العصر شبه الجليدى"، أو جزء من دورة تحدث بشكل طبيعى كل ١٥٠٠ سنة.

كما ناقشنا فى القسم ٣-٢، رُفض الاختلاف الطبيعى باعتباره مساهما مهما فى الارتفاع الحديث فى الحرارة لعدة أسباب، بما فى ذلك حقيقة أن سجلات تغير المناخ قبل القرن التاسع عشر، أو نماذج المناخ من دون انبعاث غازات البيوت الزجاجية، تكشف عن أى أنماط من الاختلاف يشبه الارتفاع الحديث السريع فى الحرارة. المقولة الخاصة بأن الارتفاع الحديث فى الحرارة "خروج" من فترة برودة سابقة تفترض أن المناخ له حالة طبيعية يعود إليها بعد فترات أكثر حرارة أو برودة، مثلما يعود ربيع ممتد إلى طوله الطبيعى. قد يبدو هذا بديهيا، لكن ليس له أساس فى سجل المناخ فى الماضى أو فيزياء الغلاف الجوى. لا توجد قوة استعادة طبيعية تدفع المناخ الأعلى حرارة إلى فترة باردة مثل العصر شبه الجليدى. لابد أن يكون لتغير المناخ كله، سواء كان طبيعيا أو من صنع الإنسان، سبب فيزيائى يفسره، لكن من يقدمون هذا الجدل لا يحددون آلية فى العادة. وفى الحقيقة، الآلية الوحيدة التى حُدِّدتْ ويمكن أن تفسر الارتفاع الحديث فى الحرارة هى تأثير ارتفاع غازات البيوت الزجاجية. وكما ناقشنا فى القسم ٣-٢، كل الآليات الطبيعية المعروفة فُحِصتْ بدقة وفشلت فى تفسير الارتفاع الحديث الملحوظ فى الحرارة.

حين نُفترَض آلية غير إنسانية، تكون عادة أن الشمس صارت أكثر سطوعًا. وهناك أسباب كثيرة لرفض هذه المقولة، لكن يبرز سببان. الأول: يقاس نتاج الشمس منذ سبعينيات القرن العشرين، ويوضح ذلك أنه لا يوجد

ميل منذ ذلك الوقت يمكن أن يفسر أكثر من كسر ضئيل من الارتفاع الملحوظ فى الحرارة. الثانى: تغير المناخ نتيجة الشمس يرفع حرارة الطبقة السفلى من الغلاف الجوى وطبقة الاستراتوسفير، لكن الميول الملحوظة تتمثل فى ارتفاع حرارة السطح والطبقة السفلى من الغلاف الجوى وانخفاض حرارة الاستراتوسفير. بتعبير آخر، ما نراه متوائما مع ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت الزجاجية، لكنه لا يتواءم مع ارتفاع الحرارة نتيجة الشمس.

بالإضافة إلى ذلك، أية مقولة عن أن الارتفاع الحالى فى الحرارة ظاهرة طبيعية ينبغى أن يفسر لماذا لا يسبب المصدر الواضح لارتفاع الحرارة، وهو زيادة غازات البيوت الزجاجية، ارتفاع الحرارة. تذكر أن الأدلة على ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت الزجاجية تعتمد على ثلاثة أسس قوية: تقول الفيزياء الأساسية إن غازات البيوت الزجاجية يجب أن تحدث ارتفاعًا فى الحرارة؛ وحدوث ارتفاع الحرارة، وتأثيرات نماذج غازات البيوت الزجاجية تنتج كميا الارتفاع الملحوظ فى الحرارة. على ضوء هذه الأدلة، أية مقولة تقول إن عاملا آخر يسبب ارتفاع الحرارة عليها أن تلبى شرطين أساسيين. لابد أن توضح كيفية عمل الآلية المفترضة؛ ولابد أن تفسر أيضًا لماذا لا تسبب غازات البيوت الزجاجية، مع خصائصها الامتصاصية المعروفة، ارتفاع الحرارة كما هو متوقع. ليس هناك سبب بديل معلن نجح فى تلبية أى جزء من هذا الشرط. تسببت عوامل طبيعية أخرى بشكل واضح فى الاختلافات الكبرى فى المناخ فى الماضى، وربما تلعب دورا ما فى الارتفاع الحديث فى الحرارة– لكن هذا الدور صغير غالبًا.

المقولة ٣: ارتفاع الحرارة فى المستقبل صغير. وحتى إذا كانت أنشطة الإنسان قد أدت إلى ارتفاع الحرارة مؤخرا، فإن المزيد من ارتفاع الحرارة فى هذا القرن وما بعده سوف يقع قرب قاع المجال المتوقع، وربما تحته.

مثل المقولتين السابقتين، تأتى هذه المقولة أيضًا فى صيغتين. الأولى، تؤكد أن حساسية المناخ أقل بكثير مما يُعتقَد الآن، وهكذا لن ترتفع حرارة الأرض كثيرًا حتى لو استمرت وفرة غازات البيوت الزجاجية فى الزيادة. وتؤكد الثانية على أن توقعات الانبعاث الحالى مرتفعة جدًا: سوف يزداد الانبعاث ببطء أو يتراجع، حتى دون جهود للحد منه.

كما ناقشنا فى الفصل الأول، من المرجح أن تقع حساسية المناخ فى مجال يتراوح ٢-٤,٥ درجات مئوية. منها، التأثير الإشعاعى المباشر لغازات البيوت الزجاجية مسئول عن ١ درجة مئوية، ويأتى الباقى، والمشكوك فيه، من التغذية الرجعية فى نظام المناخ. وأقواها التغذية الرجعية الإيجابية من بخار الماء، التى تضاعف تقريبا التأثير المباشر لغازات البيوت الزجاجية: ارتفاع الحرارة يزيد البخر، مما يسبب المزيد من ارتفاع الحرارة لأن بخار الماء من غازات البيوت الزجاجية. يقع مجال الحساسية الحالية فوق ١ درجة مئوية لأن توازن الأدلة والأحكام العلمية يشير إلى أن التأثير النهائى لكل التغذية الرجعية للمناخ إيجابى وقوى. حتى تقع الحساسية تحت درجتين مئوية بكثير، ينبغى أن تكون هناك تغذية رجعية سلبية فى موضع ما فى نظام المناخ لم يتم تحديدها بعد.

ماذا يمكن أن يكون هذا؟ يشمل أكثر الأسباب المرشحة قبولا تغيرات فى خصائص السحب. للأنواع المختلفة من السحب على ارتفاع مختلف

تأثيرات مختلفة على المناخ، يساهم بعضها بارتفاع الحرارة وبعضها بانخفاضها فى المحصلة النهائية. إجمالا، تخفض السحب حاليا حرارة الأرض بما يتراوح من ٢٠ إلى ٣٠ وات/م^{٢}. إذا زاد خفض السحب للحرارة بشكل حاد وحرارة المناخ مرتفعة، فإن هذا قد يؤدى إلى معادلة ارتفاع الحرارة نتيجة زيادة غازات البيوت الزجاجية. على مدار آخر عشر سنوات، قدِّمتْ عدة مقترحات لمثل هذه التغذية الرجعية السلبية، لكن لا توجد أدلة لدعمها. بالإضافة إلى ذلك، من الصعب أن نوفق بين وجود تغذية رجعية سلبية كبيرة، تساعد بقوة على استقرار المناخ، مع نوبات كبيرة من ارتفاع الحرارة وانخفاضها، النوبات التى ترى فى سجل المناخ على مدار آخر مليون سنة.

لم ينتهِ الجدل تمامًا، لكن حشد الأدلة يستمر فى الإشارة إلى أن المحصلة النهائية للتغذية الرجعية إيجابية. أوحى أحيانًا أنصار التغذية الرجعية السلبية القوية بأن الجدل استقر لصالحهم وبالتالى تكون التوقعات الحالية لارتفاع الحرارة عالية جدا. هذه المقولات تسيء بشكل كبير تمثيل حالة المعرفة العلمية. لم تستقر المسألة تمامًا، ومن يحتمل أن توجد تغذية رجعية سلبية كبيرة متعلقة بالسحب، لكن توازن الدليل وحكم الخبرة يقعان قريبا جدا من الاستنتاج المضاد، لا توجد مثل هذه التغذية الرجعية. مجال الحساسية المعلن، ٢-٤.٥ درجة مئوية، وهو مجال واسع جدا، تمثيل دقيق للتوزيع الحالى لرأى الخبراء فى هذه المسألة موضع الشك.

بشكل بديل، ادعى بعض الكتاب أن المناخ لن يتغير أكثر لأن الانبعاث سوف يزيد بشكل ضئيل، إذا زاد، حتى من دون جهد للحد منه. هذه ليست

مقولة علمية دقيقة، لكنها ذات أهمية بالغة فيما يتعلق بالضرورة الملحة للحد من الانبعاث. أفضل الأدلة التي تدعم هذه المقولة أنه خلال عدة سنوات في تسعينيات القرن العشرين، زاد الانبعاث العالمي أبطأ مما توقعته سيناريوهات سابقة. لكن منذ سنة ٢٠٠٠ سار نمو الانبعاث عند سيناريوهات الانبعاث الأعلى أو أعلى منها من أواخر تسعينيات القرن العشرين، والتحولات الحديثة للعودة باتجاه الوقود عالي الكربون توحي بأن هذه السيناريوهات من المرجح أن تكون منخفضة جدا أكثر من أن تكون مرتفعة جدا.

ومع ذلك، تغطي سيناريوهات الانبعاث في المستقبل مجالا واسعًا لأن هناك بدقة الكثير من الشك بشأن العوامل الدافعة لها، كما نناقش في الفصل التالي. بالإضافة إلى ذلك، حيث أن من الثابت تمامًا أن الناس يميلون إلى تقدير الكميات المشكوك فيها بثقة شديدة، فإن الشك الحقيقي في الانبعاث في المستقبل ربما يكون أوسع مما تمثله السيناريوهات الحالية. بينما سيكون مدهشاً إذا انخفض الانبعاث دون تدخل نشط، ليس هناك أساس للثقة في هذا ولابد لمقاربة مسئولة لقضية المناخ أن تضع في الاعتبار مجالا واسعًا من الانبعاث المحتمل في المستقبل. بالإضافة إلى ذلك، لا يتطلب استقرار تغير المناخ مجرد توقف الانبعاث عن النمو، لكنه يتطلب انخفاضها بقدر هائل عن المستويات الحالية. حتى سيناريوهات الانبعاث الأدنى في الشكل ٣-١٤ لا تجعل المناخ مستقرا. ومن ثم حتى إذا تبين أن المقولة صحيحة، فإن ذلك لا يعني أن ثبات المناخ يمكن تحقيقه دون جهود نشطة لخفض الانبعاث، ستجعلها أسهل فقط.

من غير الممكن أن نطرح كل المقولات الخطأ والمضللة المقدمة في مناظرة المناخ، ولهذا ركزنا على تلخيص بضع مقولات بارزة ومتكررة.

بالإضافة إلى ذلك، هذه المقولات هدف متحرك، يتراجع أنصارها عادة خطوةً خطوة وتقدم المعرفة يحول مقولاتهم من مجرد مقولات غير مدعومة إلى مقولات سخيفة. على سبيل المثال، بينما لا يزال المعلقون والمحررون السياسيون يزعمون أحيانا أن حرارة الأرض لم ترتفع على مدار القرن الأخير، تراجع معظم المنكرين العلميين عن هذه المقولة على مدار السنوات القليلة الماضية- فى وقت متأخر عما أكدته الأدلة، ليكونوا على يقين، لكنه يبقى مؤشرا لحاجتهم للحفاظ على درجة من المصداقية العلمية. حين يتم تسجيل بضع سنوات أكثر سخونة من عام ١٩٩٨- وهو ما يحتمل حدوثه قريبًا- فإن مقولة إن ارتفاع حرارة العالم توقف سنة ١٩٩٨ من المحتمل أن تختفى أيضًا، ولاشك أن مقولة أخرى ستحل مكانها.

أخيرا، ينبغى أن نلاحظ أن هناك فرصا وفيرة لاستخدام مجادلات علمية منحازة ومضللة وزائفة على كل جوانب المناظرة السياسية. فى الإعداد لهذا الكتاب، تطلعنا بجد إلى مقولات علمية مفيدة وبارزة من نشطين فى مجال البيئة، مقولات منحازة أو مضللة مثل تلك التى لخصناها هنا للمنكرين، لكننا لم نجد إلا القليل. وضع بعض المؤيدين مقولات عن ارتباط لا لبس فيه بين أحداث الطقس المفردة، من قبيل إعصار معين أو موجة حر، وتغير فى المناخ؛ إذا وضعنا فى الاعتبار تنوع الطقس والمناخ، لا يمكن عمومًا إقامة هذه العلاقات بشكل يعتد به. قدم بعض النشطين فرادى مقولات قوية بشكل لا يحتمل بشأن الآثار الشديدة على صحة الإنسان نتيجة تغير المناخ، بما فى ذلك تصريحات بأن التغير الحالى فى المناخ متورط فى الإحياء الحديث للأمراض المعدية. فى الحقيقة، يمكن لتغير المناخ فى

المستقبل أن يجلب معه تأثيرات صحية كبيرة، لكن الشكوك كبيرة والدليل على إشارة قوية إلى المناخ فى الميول الصحية الحالية ملتبس ومثير للخلاف. بالغ مؤيدون آخرون بشكل لا يمكن تصديقه فيما يتعلق بالاختيارات التكنولوجية المتوفرة بالفعل وتسمح بالتعديل دون تكلفة أو بتكلفة سلبية- رغم أن التقدم التكنولوجى يمكن أن يحول هذه المبالغات البرية الحالية إلى حقائق فى المستقبل. أخيرًا، وصف بعض المؤيدين وتعليقات صحفية عديدة التأثيرات المحتملة التى تمثل كارثة بمصطلحات تدل على أنها مؤكدة تقريبا.

لكن هذا قليل الأهمية. إن التصريحات عن تغير المناخ فيما يتعلق بالمنظمات الكبرى المعنية بالمناخ دقيقة تمامًا، وليس هناك شىء فى جانب أنصار البيئة يشبه الصناعة المنزلية عند منكرى تغير المناخ والمنظمات المؤيدة التى تفند علانية حقيقة تغير المناخ ونسبتها إلى أنشطة الإنسان. يحتمل بشكل مؤكد أن يتم تضخيم الأخطار البيئية مقارنة بالمعرفة العلمية، وقد فعلها أنصار البيئة أحيانًا. لكن فى المناظرة الحالية عن تغير المناخ، يبدو أن قيمة إساءة المثيل تقع بقوة مع منكرى تغير المناخ وممثلى السياسة الذين يستخدمون هذه المجادلات لمعارضة التعديل فيما يتعلق بغازات البيوت الزجاجية.

٣-٦ الاستنتاجات

نستنتج بتلخيص الإجابات التى تقدمها المعرفة العلمية الحالية للأسئلة الأربعة الأساسية بشأن تغير المناخ العالمى.

هل المناخ يتغير؟ نعم، ترتفع حرارته. تؤكد مصادر مستقلة ومتعددة للبيانات بشكل لا شك فيه أن حرارة الأرض ترتفع، وأن درجات الحرارة اليوم ترتفع سريعًا بصورة خاصة. ولدينا ثقة عالية بأن متوسط درجات حرارة العالم على مدار العقود القليلة الماضية أعلى من أية فترة مقابلة على مدار القرون الخمسة الماضية، وربما على مدار آخر ثلاثة عشر قرنًا.

هل أنشطة الإنسان مسئولة؟ من المرجح تمامًا أن انبعاث غازات البيوت الزجاجية من أنشطة الإنسان سبب معظم الارتفاع السريع فى الحرارة فى العقود القليلة الماضية. بالنسبة لارتفاع الحرارة قبل منتصف القرن التاسع عشر، ربما لعب الانبعاث من أنشطة الإنسان دورًا، لكن العمليات الطبيعية من قبيل التقلب الشمسى والبراكين والتنوع الداخلى فى المناخ ربما كان لها مساهمات جوهرية.

ما التغيرات الأخرى المحتملة؟ فى ظل كل السيناريوهات المعقولة بالنسبة للقرن الحادى والعشرين، من المؤكد حقًا أن حرارة المناخ ستواصل الارتفاع، وفى أفضل تقدير ترتفع الحرارة العالمية فى هذا القرن بما يتراوح من ١,٨ إلى ٤ درجة مئوية. حتى الحد الأدنى لهذا المجال أكثر من ضعف ارتفاع الحرارة فى القرن العشرين. ويوسع تضمين المجال الكامل للشكوك مجال التغيرات المتوقعة فى هذا القرن إلى ١.١-٦,٤ درجة مئوية.

ما التأثيرات؟ لدينا فكرة عامة عن الأنواع المحتملة للتغيرات والتأثيرات الإقليمية، لكننا لا نستطيع التنبؤ بتأثيرات خاصة بثقة. يشمل مجال التأثيرات المحتملة فى المستقبل بعض التأثيرات الخطيرة بما يكفى

لجذب انتباهنا. إذا وقع تغير المناخ قرب الحد الأدنى للمجال المتوقع (الشكل ٣-١٤)، فمن المحتمل أن تستطيع الدول الغنية التى تقع على خطوط عرض متوسطة مواجهة هذا التغير، لكنه قد يمثل صعوبات خطيرة بالنسبة للبلاد الأفقر. إذا وقع تغير المناخ قرب قمة المجال المتوقع، فمن المحتمل أن تكون التأثيرات فى هذا القرن شديدة وليست هناك قدرة على مواجهتها بالنسبة للجميع. إن تأثيرات التغيرات المستمرة فى المناخ دون انقطاع بعد ٢١٠٠، مع زيادة CO_2 فى الغلاف الجوى بما يتجاوز مستوى ما قبل العصر الصناعى بثلاثة أضعاف أو أربعة، مشكوك فيها بشكل أكبر، لكنها تشمل أخطارًا لا يمكن تجاهلها لتغيرات بمثابة كوارث تؤدى إلى تحول جوهرى فى النظم البيئية والمجتمعات الإنسانية.

مزيد من القراءة بالنسبة للفصل الثالث:

ACIA (2004), Impacts of a Warming Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

هذا التقرير توليف للنتائج الأساسية المتعلقة بتقييم تأثير المناخ فى القطب الشمالى (ACIA) وهو مكتوب بلغة واضحة يمكن أن تصل إلى صناع السياسة وعامة الجماهير. إن تقييم تأثير المناخ فى القطب الشمالى ACIA تقييم بُحث باستفاضة وتمت مراجعته بواسطة الرفاق، تقييم لتغير المناخ فى القطب الشمالى وتأثيراته بالنسبة للمنطقة والعالم. كتبه فريق دولى من مئات العلماء، ويتضمن أيضا المعرفة الخاصة لأناس محليين. هذا التوليف، والتقرير الكامل أيضا، متوفر على الإنترنت فى http://www.acia.uaf.edu.

K. Emanuel (2007). *What We Know About Climate Change*. Cambridge, MA: MIT Press.

يتناول هذا الكتاب الصغير نسبيا أسس علم ارتفاع حرارة العالم وكيف انبثق الفهم الحالى له.

IPCC (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.

هذا أحدث تقرير على نطاق شامل عن IPCC's Working group I، المجموعة المسئولة عن التقييمات الدولية لعلم الغلاف الجوى بشأن بتغير المناخ. وهو أحدث بيان رسمى عن حالة المعرفة العلمية بشأن تغير المناخ، ومصدر أساسى لكل من يأمل في أن يتعرف على مناظرة تغير المناخ. بالإضافة إلى التوليفات المفصلة تماما عن الأوجه الخاصة المقدمة في كل فصل لعلم تغير المناخ، ويتضمن التقرير ملخصا تقنيا وملخصا عن صناع السياسة، ويقدم الملخصان أهم النتائج والاستنتاجات في صورة مكثفة وسهلة الفهم. ونعتمد إلى حد بعيد على هذا التقرير فيما يتعلق بالكثير من الاستنتاجات العلمية الواردة في هذا الفصل.

IPCC (2007b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. van der Linken, and C.E. Hanson (eds.) Cambridge, UK: Cambridge University Press 976 pp.

وهذا أحدث تقييم شامل عن IPCC's Working group II. وهو يلخص المعرفة الحالية بشأن التأثيرات المحتملة لتغير المناخ، والقدرة على التكيف، وتأثر الأنظمـــة البيئيـــة والاجتماعية بتغير المناخ.

IPCC (2007d). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R.K. Pachauri, and A. Reisinger (eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press.

يلخص هذا التقرير ويدمج النتائج الأساسية التى توصلت لها المجموعات الثلاث فـــي IPCC في مجلد واحد.

US Climate Change Science Program (2006). *Temperature Trends in the Lowe Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences*. T.K. Karl, S.J. Hassol, C.D. Miller, and W.I. Murray (eds.)

يصف هذا التقرير، الذي خضع للمراجعة، التفاصيل العديدة لحساب متوســط درجـــة حرارة العالم. ويقارن الميول في العديد من مجموعات البيانات المهمة، وقد توصـــل إلى أن الميول متسقة كلها عمومًا، رغم وجود بعض الاختلافات.

US Climate Change Science Program (2009). *Global Climate Change Impacts in the United States. Unified Synthesis Product*. T.K. Karl, J.M. Melillo, and T.C. Peterson (eds.).

يقدم هذا التقرير، الصادر عن US Climate Change Science Program، تقييما تفصيليا للتأثيرات المحتملة لتغير المناخ، ونقاط الضعف، والقدرة على التكيف بالنسبة للولايات المتحدة. تفحص دراسات منفصلة تأثيرات تغير المناخ على تسع مناطق كبـــرى فـــي الولايات المتحدة وسبعة قطاعات ذات أهمية قومية، محدثًا التقيـــيم الأخيـــر الـــشامل لتأثيرات على الولايات المتحدة نتيجة تغير المناخ وتنوعه المنشور في ٢٠١١. مثـــل

تقارير IPCC، تضمن هذا التقييم أعمال مئات من العلماء وخضع لعمليـــة مراجعـــة موثقة بقوة ودقة بواسطة الرفاق.

S.R. Weart (2003). The Discovery of Global Warming. Cambridge, MA: Harvard University Press.

تاريخ سهل القراءة والفهم إلى حد بعيد، يتناول التطورات الكبرى فـــي علـــم تغيـــر المناخ، من القرن التاسع عشر عبر تكوين الإجماع الحـــديث بـــشأن واقـــع الـــسبب الإنساني وهيمنته في تغير المناخ حديثا كما تم التعبير عنه في تقريـــر IPCC لـــسنة ٢٠٠١.

الفصل الرابع

سياسة تغير المناخ
التأثيرات والتقييمات والاستجابات

لا يقدم فهم علم تغير المناخ إلا جزءًا فقط من المطلوب لاتخاذ قرار بما يجب عمله بشأن الموضوع. يتطلب أيضًا اتخاذ قرار بكيفية التقدم معلومات عن التأثيرات المحتملة لتغير المناخ على المجتمع الإنساني، والاختيارات المتاحة للاستجابة لتغير المناخ، والمبادلات، والتكاليف، والأخطار. ويلخص هذا الفصل المعرفة والشكوك الحالية في هذه المسائل.

تقع الاستجابات المتوفرة للتعامل مع تغير المناخ في قسمين كبيرين، **التكيف والتعديل**، بالإضافة إلى نوع ثالث من الاستجابة المحتملة، لم يحظ باهتمام شديد إلا حديثًا، **هندسة المناخ**. تستهدف تدابير التكيف تأثيرات تغير المناخ: تسعى إلى تهيئة المجتمع الإنساني للمناخ المتغير، للتقليل من الأضرار الناجمة. وتتضمن الأمثلة بناء حواجز الأمواج أو السدود للحد من أخطار ارتفاع مستوى البحار أو فيضانات الأنهار، أو زراعة محاصيل تقاوم الجفاف للتعامل مع مواسم الصيف الأكثر جفافًا في المناطق الزراعية. وتستهدف تدابير التعديل أسباب تغير المناخ: تسعى إلى الحد من سرعة تغير المناخ أو إيقافه بتقليل انبعاث غازات البيوت الزجاجية المسئولة عنه.

في المناظرات المبكرة بشأن المناخ، تناول كثير من المؤيدين التعديل مقابل التكيف بوصفه اختيارا بين هذا أو ذاك، ربما لأنهم تخيلوا أن الاهتمام والتأييد للاستجابة التى يفضلونها يمكن أن يضعفا بالاعتراف بالحاجة للآخر. ولحسن الحظ، تجاوزت المناظرة هذه الثنائية الزائفة، ومن المفهوم الآن على نطاق واسع أن التكيف والتعديل كليهما مطلوبان. التكيف ضرورى لأن تغير المناخ يحدث بالفعل والمزيد من التغير الجوهرى حتمى. علينا أن نتكيف مع هذه التأثيرات، مهما استطعنا الحد من الانبعاث بشدة. والتعديل ضرورى للحد من حدة تغير المناخ الذي علينا أن نتكيف معه، لأنه يبقى من الممكن تجنب أكثر التغيرات المتوقعة تطرفًا، ومن ثم التأثيرات الأكثر حدة، خاصة فى النصف الأخير من القرن. المسائل الأساسية فى تشكيل استجابة ليست أيهما نفعل، لكن إلى أى حد وبأية سرعة وكيف نفعل الاثنين بفاعلية وكفاءة.

تركز معظم الاستجابات المفترضة لتغير المناخ على التعديل والتكيف. يتضمن النوع الثالث من الاستجابة، هندسة المناخ، معالجة نشطة لنظام المناخ لمواجهة تأثيرات غازات البيوت الزجاجية، ومن ثم كسر الارتباط بين الانبعاث وتغير المناخ. ورغم أن استجابات هندسة المناخ لتغير المناخ افترضها عدد صغير من العلماء فى وقت مبكر يعود إلى ستينيات القرن العشرين، فقد حظيت بقدر من الاهتمام أقل مما حظى به التكيف والتعديل منذ وضع تغير المناخ فى الأجندات السياسية فى ثمانينيات القرن العشرين. ومع ذلك، شهدت السنوات القليلة الماضية إحياء الاهتمام بهندسة المناخ مع انتشار الاعتراف بخطورة تغير المناخ وعدم فاعلية الاستجابات إلى حد بعيد. ورغم هذا الاهتمام الجديد، يبقى فهم فوائد هندسة المناخ وتكاليفها وأخطارها محدودا وبدائيًا.

يقسَّم الفصل على النحو التالى: يناقش القسم ٤-١ تأثيرات تغير المناخ وتدابير التكيف. ويناقش القسم ٤-٢ توقعات الانبعاث على مدار القرن التالى والتكنولوجيات والسياسات، على المستويين القومى والدولى، المتاحة لتقليله. ويناقش القسم ٤-٣ التقديرات الحالية لتكلفة تأثيرات المناخ والتعديل والتكيف، والجهود المبذولة لدمجها فى إطار متسق لتقييم الاستجابات. ويناقش القسم ٤-٤ بإيجاز تدابير هندسة المناخ، بينما يلخص القسم ٤-٥ المعرفة الحالية وآراء الخبراء فيما يتعلق بالاستجابات المفيدة لتغير المناخ، مركِّزًا على كيفية اتخاذ قرارات معقولة بشأن تغير المناخ فى ظل الشكوك التى تعتريه.

٤-١ التأثيرات والتكيف

٤-١-١ تعريف تأثيرات تغير المناخ وتقييمها

تناول الفصل الثالث المعرفة الحالية بشأن كيفية احتمال تغير المناخ فى هذا القرن، والتأثيرات الناجمة على النظم البيئية والموارد الطبيعية. لكن تحديد تأثير هذه التغيرات على البشر يتطلب تحليلا إضافيًّا يربط توقعات تغير المناخ واتجاه تأثيراته على النظم البيئية والموارد بفهم كيفية اعتماد المجتمع على هذه الأوجه الخاصة بالمناخ والبيئة. وكما تم فى الفصل الثالث، نهتم فى هذا القسم بالمسائل الإيجابية المتعلقة بكيفية وصف التفاعل بين التغيرات الناجمة عن المناخ فى العمليات الفيزيائية والبيولوجية والمجتمعات الإنسانية وتحليل هذا التفاعل. وتقدم المسائل المعيارية، المعنية بكيفية تقييم

هذه التغيرات بمجرد وصفها وتحليلها، وما تتضمنه بالنسبة للقرارات، فى القسم ٤-٣ (التقييم) والفصل الخامس (نتائج الفعل).

لا يعتمد تأثير تغير المناخ على الناس والمجتمعات على كيفية تغيرات المناخ فقط، بل يعتمد أيضًا على العوامل الاجتماعية والاقتصادية المتعددة المرتبطة بالمكان الذى يعيش فيه الناس والكيفية التى يعيشون بها، ومدى ثرائهم أو فقرهم، وكيف يكسبون أقواتهم، والتكنولوجيات والموارد الطبيعية التى يعتمدون عليها، والمؤسسات والممارسات الثقافية والسياسات التى تحكمهم. وبالتالى، سوف تختلف التأثيرات بين الناس والأماكن، ليس فقط لأنهم يواجهون بتغيرات مختلفة فى المناخ لكن أيضًا لأنهم يختلفون في تأثرهم بالأبعاد الخاصة للمناخ بطرق خاصة. ربما تتأثر محطة كهرباء لطول موجات الحر في الصيف وتكرارها، مما يرفع الاحتياجات الكهربية، بينما يتأثر منتجع للتزلج بدرجة كبيرة لتغيرات متوسط درجة حرارة الشتاء ومجمل تساقط الجليد وليس لدرجة حرارة الصيف على الإطلاق. وربما تتأثر الزراعة فى بلد معين بتغيرات موسم تزايد سقوط الأمطار ككل ومعدل تكرار هطول الأمطار بغزارة والجفاف. وتتأثر السواحل المنخفضة، سواء فى ولاية لويزيانا أو بنجلاديش، بشكل خاص لارتفاع مستوى سطح البحر، بينما تتأثر المناطق سريعة النمو التى تواجه نقصًا فى المياه بالفعل، مثل كاليفورنيا وأريزونا، بتغيرات سقوط الأمطار وكثافة الثلوج فى الشتاء. وبالتالى، يتطلب توقع تأثيرات المناخ ربط توقعات تغير المناخ بسيناريوهات العوامل الاجتماعية والاقتصادية التى تشكل هذه الحساسيات بأقصى قوة.

تعتمد تأثيرات تغير المناخ أيضًا على ضيق المنظور التى تنظر من خلاله واتساعه. انظرْ إلى مناطق أصغر أو أجزاء أضيق من الاقتصاد، والتأثيرات عادة أكبر وأكثر تنوعًا، وتشمل المكاسب والخسائر كليهما. حتى فى بلدة واحدة، ربما تضر مواسم الصيف الأعلى حرارة والأكثر جفافا الزراعة وتفيد السياحة. إذا تراجعنا لنتأمل كل اقتصاد البلدة، تلغى خسائر الزراعة مكاسب السياحة جزئيا، مما يجعل مجمل التأثير أصغر. كلما نظرت بشكل أكثر اتساعًا، كلما زاد تلاشى التأثيرات على نطاق أصغر. تدمج تقديرات التأثير القومى أو العالمى الاختلاف فى التأثيرات على نطاق أصغر وتلغيها، مع تعرض بعض الناس والأماكن والأنشطة لأضرار أكبر، وتعرض آخرين لأضرار أقل أو حتى تحقيق- بالنسبة لتغيرات صغيرة فى المناخ- منافع.

يعتمد أيضًا تأثير تغير المناخ على تغيرات أشياء أخرى فى الوقت ذاته. والمناخ يتغير، تتغير عوامل بيئية أخرى بالتوازى: يزيد CO_2 فى الغلاف الجوى بالتأكيد، ومن المحتمل أيضًا أن تتغير عوامل أخرى من قبيل الترسب الغذائى ونوعية الهواء وغطاء اليابسة. تتأثر أجهزة إنسانية وبيولوجية كثيرة بكل من تغير المناخ وبهذه التغيرات الأخرى، وبالتفاعل بينها. والتفاعل الذى درس أكثر من غيره هو التفاعل بين المناخ وثانى أكسيد الكربون. بالإضافة إلى تغير المناخ، يؤثر ارتفاع CO_2 على النباتات مباشرة بزيادة كفاءة التمثيل الضوئى واستخدام المياه، رغم اختلاف التأثيرات بشكل واسع بين أنواع النبات. وجدت دراسة المحاصيل الزراعية غالبًا أن هذه التأثيرات نتيجة ارتفاع CO_2 يمكن أن تعادل نقص المياه فى مناخ يتوقع

أن يكون أكثر حرارة وجفافا، وهكذا يزيد نمو النبات من الاتزان فى ظل التغيرات الصغيرة المتوقعة فى العقود القليلة القادمة- رغم أن هذا النمو الزائد يبدو أنه يأتى بمحتوى بروتينى أقل وربما بحبة ذات حجم أصغر فى محاصيل الحبوب. تميل التغيرات الأكبر فى المناخ، المتوقعة فيما بعد فى القرن بالتوازن بين المناخ وتأثيرات CO_2، فى المحصلة إلى نقص فى نمو النبات. وتوضح الدراسات التى تتجاوز المناخ المتوسط لتشمل التغيرات فى تقلب الطقس وتطرفه، من قبيل الزيادة المتوقعة فى كل من الجفاف وهطول الأمطار بغزارة، توضح التأثيرات السلبية التى ربما تفوق معادلة الزيادة على المدى القصير نتيجة التغيرات فى CO_2 ومتوسط المناخ. بالإضافة إلى ذلك، سوف تؤثر التغيرات فى المناخ وثانى أكسيد الكربون على الأعشاب الضارة والأنواع المعتدية، والأوبئة، والأمراض كما تؤثر على المحاصيل. وتوحى الدراسات التجريبية لهذه التفاعلات بأن الأعشاب الضارة والأنواع المعتدية ربما تستجيب بشكل أقوى من المحاصيل لارتفاع CO_2، وهكذا فإن إجمالى إنتاج المحاصيل يمكن أن يرتفع أو ينخفض بالنسبة للعلاقات بين أنواع معينة (ومنها أعداد هائلة يجب دراستها).

الشك الأكبر فى توقع تأثيرات المناخ، مع ذلك، هو تقدير مدى تكيف الناس مع هذه التغيرات. تتكيف المجتمعات مع المناخ الحالى بطرق متنوعة، ونتوقع بعض التكيف مع تغيرات المستقبل. إذا قلل تغير المناخ من الإنتاجية والفوائد من الممارسات الزراعية الحالية، نتوقع أن يتحول الفلاحون- والآخرون الذين يؤثرون على قراراتهم، مثل من يمدونهم بالبذور، وشركات المعدات، وخدمات التوسع الزراعى- إلى محاصيل وممارسات تتناسب

بشكل أفضـــل مـــع الظروف الجديدة. إذا أصبحت أنماط الاستقرار الحالى، أو الأنشطة الاقتصادية، أو ممارسات معالجة الموارد غير متناسبة مع تغير فى المناخ، نتوقع أن يلاحظ الناس هذا ويغيرون، فى النهاية وبدرجة ما، الممارسات لتتناسب بشكل أفضل مع المناخ الجديد. بالإضافة إلى ذلك، على الناس ألا ينتظروا حدوث تغير ليتكيفوا معه. مع تنبؤات جيدة، يمكن أن يتطلع الناس إلى الأمام ويتكيفوا مقدَمًا، ســواء لتغيرات معينـــة يتوقعـــونها أو لزيادة عامة فى الشك بشأن المناخ. مثل هذا التكيف التوقعى ذو أهمية خاصة بالنسبة للقرارات التى لها نتائج على المدى الطويل، مثل التخطيط، وتقسيم المناطق، وممارسات البنية التحتية أو الاستثمارات طويلة المدى مثل الموانئ والسدود ومحطات توليد الطاقة.

إن كيفية تكيف الناس حاسمة فى تحديد تأثيرات المناخ وينبغى وضعها فى الاعتبار فى تقييم التأثيرات. لسوء الحظ، إن معرفة كيف يتكيف الناس والعوامل التى تؤثر فى قدرتهم على القيام بذلك محدودة تمامًا. اعتمدت تقييمات كثيرة للتأثير على إحدى فرضيتين متطرفتين بشأن التكيف. افترض البعض استمرار الممارسات الحالية دون استجابة للمناخ المتغير. بافتراض أن التكيف صفر، تبالغ هذه المقاربة بشكل منهجى فى الأضرار الناجمة عن تغير المناخ. فى الطرف الآخر، نفترض بعــض الدراســات تكيفًا نموذجيًا، لا تحده حدود البصيرة أو صناعة القرار بشكل منطقى، أو حتى الجمود نتيجة المعدات الرأسمالية المعمرة. وبالضبط مثلما يبالغ افتراض عدم وجود تكيف فى الأضرار المتوقعة نتيجة تغير المناخ، يقلل افتراض التكيف الكامل من شأنها. بافتراض أن المجتمع يتكيف مع مناخ المستقبل بشكل أفضل من تكيف

مجتمع اليوم مع المناخ الحالى، يمكن أن نتوقع، بشكل لا يُصدَق، أن تكون تأثيرات أى تغير فى المناخ مفيدة تقريبًا بالتوازن.

تتطلب توقعات التأثير بشكل أفضل توقعات واقعية عن الكيفية التى سوف تتكيف بها المجتمعات فعليا مع تغيرات المناخ فى المستقبل، لكن من الصعب القيام بهذا. تختلف القدرة على التكيف بقوة بين الناس والأماكن. إن المجتمعات الغنية التى تتمتع بمؤسسات تؤدى وظائفها بشكل جيد وشبكات اجتماعية قوية أكثر قدرة على التكيف عموما، ومن ثم أقل عرضة لأخطار تغير المناخ، من المجتمعات التى لا تتمتع بمثل هذه المزايا. ومع ذلك لا يعنى امتلاك القدرة على التكيف استخدامها، بالضرورة، للتكيف بشكل جيد. توجد أدلة هائلة على أن التكيف لظروف المناخ الحالى بعيد جدًا عن المثالية، حتى فى المجتمعات الثرية التى تتمتع بحكم جيد. إننا نقوم بزراعة كثيفة فى مناطق معرضة للجفاف من خلال بحث عن المياه الجوفية لا يمكن دعمه. نبنى فى مواضع معرضة لأخطار عالية على سواحل منخفضة، وفى سهول الفيضانات، ومنحدرات التلال المعرضة للحرائق والانهيارات. ونعيد حتى البناء مرارا وتكرارا فى المواضع شديدة الخطورة نفسها، كثيرًا ما يكون بانحسار كبير، بعد تدمير الممتلكات. وتجعلنا مثل هذه الأشكال من سوء التكيف أكثر عرضة للتأثر باختلاف المناخ حاليًا والتغير المتوقع فى المناخ مستقبلا.

تستمر تغيرات المناخ وتصبح تأثيراتها أكثر وضوحا، ربما تهتم المجتمعات أكثر وتتكيف بشكل أفضل، لكن هذا غير مؤكد على الإطلاق. التكيف محدد للغاية بالسياق: تعتمد تدابير التكيف الفعال على ظروف متعددة

بيئية واجتماعية واقتصادية ومؤسسية فى كل وضع، ويمكن للكثير من العوامل أن تعقد التكيف وتعوقه. على سبيل المثال، القرارات التى تؤثر على نقاط الضعف والتكيف لا يعترف بها غالبا باعتبارها كذلك. وربما تحفز أفضليات وقيم متعددة القرارات ذات الصلة، ولا تكون نقاط الضعف بالنسبة للطقس أو المناخ هى الأكثر بروزا. لا يبنى الناس على جوانب تلال عرضة للانهيار بهدف وضع أنفسهم فى خطر، لكن لأنهم يريدون أن يكونوا هناك لأسباب أخرى من قبيل التكلفة أو الملاءمة أو اللياقة أو الثقافة. بالإضافة إلى ذلك، الشك فى التوقعات بشأن مناخ موضع أو منطقة يمكن أن يجعل من الصعب حتى على المدراء المطلعون الذين لديهم دوافع ليعرفوا أى تغيرات عليهم التكيف معها، وهكذا يقررون تدابير التكيف لتتجسد فى استثماراتهم أو قرارات التخطيط. هذه العوامل تجعل التكيف الفعال صعبا، وتعوق أيضا التوقعات الدقيقة بشأن التأثيرات ونقاط الضعف التى تعتمد على التكيف.

باختصار، التوقعات بشأن التأثيرات الاجتماعية لتغير المناخ أكثر صعوبة وإثارة للشك من توقعات تغير المناخ التى تمت مناقشتها فى الفصل الثالث. لكن بصرف النظر عن مدى الشك فى توقعات التأثير، لا يزال يجب النظر إليها في حكم معقول على كيفية الاستجابة لتغير المناخ. البدائل- تجاهل التأثيرات، أو تأخير الفعل حتى نعرف حقيقة التأثيرات- تعنى فعليا الانتظار حتى تداهمنا التغيرات، حين تكون الاختيارات أمامنا محدودة أكثر بكثير.

ولأنه لا يمكن تجنب العمل فى ظل الشك، فإن هناك قيمة عظيمة فى تطوير وسائل أفضل لتقييم التأثيرات تضع الشك فى الاعتبار، وتدمج الأبحاث المتوفرة حاليا مع حكم الخبراء. على سبيل المثال، لخص مؤلفو

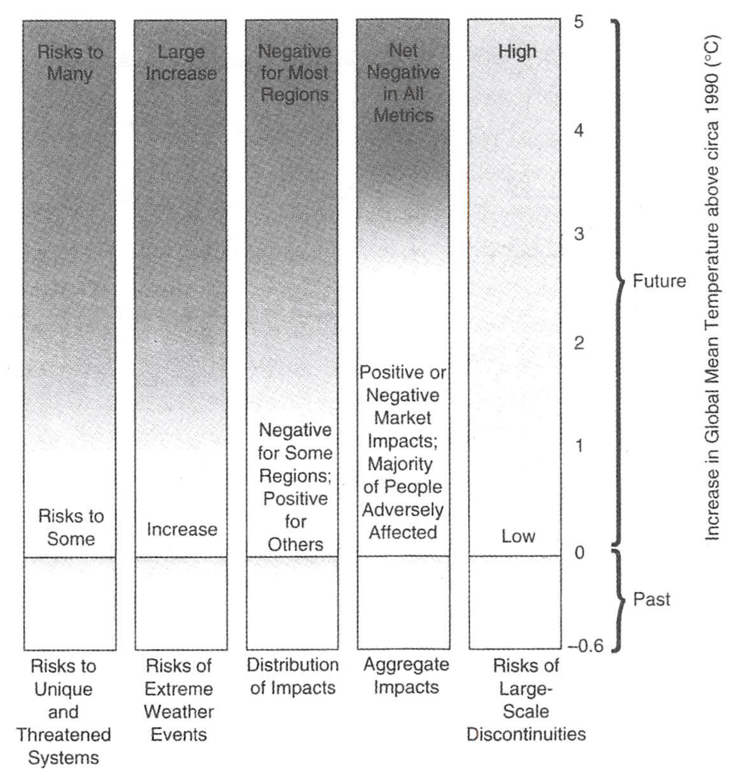
تقييمات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فى سنة ٢٠٠١ وسنة ٢٠٠٧ أحكامهم عن الشدة المحتملة للتأثيرات فى رسوم بيانية. يوحى الرسم البيانى لسنة ٢٠٠٧، أعيد إنتاجه فى الشكل ٤-١، بأن التأثيرات الشديدة يحتمل أن ترتفع مع زيادة حرارة العالم بأكثر من ٢,٥-٣ درجات مئوية عن مستوى ١٩٩٠.

بينما هذه الملخصات لأحكام الخبراء مفيدة للبدء فى تلخيص أخطار تأثير المناخ، بافتراض أن دليلا أكثر فائدة لصناعة القرار يتطلب طرقاً لتوليف المعرفة الحالية وأحكام الخبراء التى هى أكثر شفافية فى المنطق الذى تعتمد عليه، أفضل فى تجسيد الشكوك، وإن أمكن أكثر كمية. إن الاحتياج إلى تقييمات التأثيرات التى تدمج الشك بشكل أفضل شديد بشكل خاص فيما يتعلق بالتغيرات المفاجئة المحتملة. كما ناقشنا فى الفصل الثالث، حُدِّدتْ آليات قليلة للتغيرات المفاجئة بوصفها احتمالات، بما فى ذلك فقدان ألواح جليدية رئيسية فى جرينلند أو أنتاركتيكا وإعادة تنظيم لدورة المحيطات على نطاق واسع. وربما تكون هناك احتمالات أخرى لمَّا تُحدَّد بعد، كما لم يتوقع أحد ثقب الأوزون فى القطب الجنوبى قبل أن يُلاحَظ.

بتأمل أكبر تغيرات المناخ – سواء كانت نتيجة انبعاث أعلى، أو حساسية أعلى للمناخ، أو النظر أبعد إلى مستقبل دون تحكم فى الانبعاث- يبدو أن إمكانية حدوث التغيرات المفاجئة والتأثيرات الحادة تكون أكثر احتمالا، لكن إلى أى حد تكون محتملة؟ رأى معظم الخبراء أن هذه التغيرات المفاجئة غير محتملة فى هذا القرن، لكن الرأى مشوش ولا يوجد أساس لرفض هذه التغيرات بوصفها غير محتملة بدرجة تجعلنا نتغاضى عنها. وقد

شهدت السنوات القليلة الأخيرة زيادة جوهرية فى اهتمام الخبراء بشأن أخطار فقدان ألواح جليدية كبرى.

فى الواقع، يرى كثير من الملاحظين أن الخطر ضعيف الاحتمال للتأثيرات الحادة، وليس التأثيرات الأصغر للتوقعات المتوسطة الأكثر احتمالا، هو ما يقدم السبب الرئيسى للحد من تغير المناخ. وقد اتخذت مجموعة العمل الأولى فى IPCC فى سنة ٢٠٠٧ قرارًا باستبعاد فقدان ألواح جليدية كبرى من سيناريوهات ارتفاع مستوى البحر، لأن المؤلفين لم يستطيعوا الاتفاق على كيفية وصف احتماله، وكانت من نقاط الخلاف الأكثر حدة فى التقييم. لكن بينما يبدو بوضوح أن تجاهل مثل هذه الأخطار فى التقييمات خطأ، فإن تضمينها يطرح الأخطار التى سوف تهيمن على التقييم والقرارات الناجمة عنه، رغم الاعتقاد بأن الاحتمال ضعيف. ويتطلب تقييم مثل هذه الأخطار بشكل مسئول أن نضع فى الاعتبار الآراء الخاصة بكل من حدتها واحتمالها، لكننا نفتقر إلى وسائل وعمليات مقبولة على نطاق واسع للقيام بهذا، ولدمج هذه التقييمات فى صناعة القرار بشكل مسئول. ويمثل مزيد من تطوير هذه الوسائل وقبولها أولوية كبرى.



الشكل ٤-١: عواقب تغير المناخ مرسومة على متوسط حرارة العالم (بالدرجة المئوية) بعد عام ١٩٩٠. يناظر كل عمود "سببًا" خاصا "للاهتمام"، ويمثّل نتائج إضافية مرتبطة بالزيادة فى متوسط درجة حرارة العالم. يمثل التخطيط المظلل زيادة مستمرة فى مستويات الخطر. ارتفعت درجة الحرارة فى الفترة التاريخية من ١٩٠٠ إلى ٢٠٠٠ بمقدار ٠,٧ درجة مئوية. تقريبًا وأدت إلى بعض التأثيرات. وينبغى ملاحظة أن هذا الشكل يقدم فقط مقدار تغير الأخطار مع ارتفاع متوسط درجة حرارة العالم، وليس مقدار ما قد تتغير به الأخطار عند مستويات مختلفة من ارتفاع درجة الحرارة. بالإضافة إلى ذلك، لا يقدم متى يمكن إدراك التأثيرات، أو إن كانت تفسر تأثيرات المسارات المختلفة للتطور من المسارات المعرضة للخطر.

المصدر: بتصرف عن Smith et al. (2009).

٤-١-٢ الاستجابات لتعزيز التكيف

التكيف مع تغير المناخ ليس وظيفة الحكومة فقط، وربما حتى لا يكون وظيفة الحكومة أساسًا. سوف يحدث قدر كبير من التكيف بواسطة الأفراد، والشركات، والهيئات الأخرى، والجماعات، كل منها يتصرف لمصلحته. لكن يمكن أن تساعد السياسات العامة والحكومات على تشجيع تكيف المجتمعات مع تغير المناخ بثلاث طرق. أولا: يمكن للحكومات تقديم المعلومات والمساعدة، من قبيل توقعات المناخ ودراسات التأثيرات وتقييمات الاستجابات الممكنة والمساعدات التقنية والمالية فى تحقيق الاستجابات. ويمكن أن يساعد هذا الدعم على تحول المواطنين والجماعات من التفاعل مع التغيرات وهى تحدث إلى توقع التغيرات فى المستقبل، وهكذا يكون التكيف أكثر فاعلية وأقل تكلفة، وخاصة حين يمكن دمجه فى التخطيط وقرارات الاستثمار لآفاق زمنية طويلة. ويمكن لتقييمات وتوقعات أفضل أن تقلل أيضًا خطر إهدار الأموال والجهود للتكيف مع التغيرات الخطأ، على سبيل المثال، التكيف مع تذبذب قصير المدى فى المناخ نتيجة الخلط بينه وبين ميل طويل المدى. ثانيًا: يمكن للحكومات استخدام سلطتها التنظيمية لإلزام المواطنين بالتقليل من احتمال تعرضهم للخطر، على سبيل المثال بتغيير رموز تقسيم المناطق للحد من البناء فى المناطق المعرضة للخطر. ثالثًا: يمكن للحكومات استخدام الإنفاق والإجراءات لبناء قدرة على التكيف مباشرة، على سبيل المثال، ببناء حواجز أو دفاعات ساحلية أخرى، أو بأن تشترط تصميم مشاريع البنية التحتية التى تساهم فيها (على سبيل المثال، الطرق وأماكن النقل الأخرى، ونظم المياه والصرف، والطاقة الكهربية، وشبكات الاتصال، والموانئ) بطرق تقلل من تعرضها للخطر.

ولأن التغيرات الخاصة التى علينا التكيف معها تبقى موضع شك، فإن إحدى وظائف تدابير التكيف زيادة قوة المجتمع إلى مجال أوسع من حالات المناخ. إن الكثير من تدابير التكيف لن تكون خاصة بالمناخ، لكنها ستقلل فى الوقت ذاته التعرض لأخطار متعددة. على سبيل المثال، سوف تقلل تقوية نظم الصحة العامة الأخطارَ الصحية نتيجة تغير المناخ بالإضافة إلى الأخطار الصحية الأخرى. وبشكل مماثل، تقلل تقويةُ نظم الاستجابة للطوارئ، وتنفيذ السياسات الخاصة بدفع النمو وتقليل الفقر، الحساسيةَ لتغير المناخ وللعديد من التهديدات الأخرى، بما فيها التهديدات الفورية.

إن وضع التدابير لتشجيع التكيف جزء أساسى من الاستجابة لتغير المناخ، لأننا ضيعنا فرصة إبقاء تغيرات المناخ ضئيلة. بالإضافة إلى الارتفاع الذى حدث فى درجة الحرارة، يجعلنا الانبعاث السابق نسلم بارتفاع إضافى فى الحرارة بمقدار ٠,٤ درجة مئوية عن درجات الحرارة سنة ٢٠٠٨، وهو ما قد يحدث حتى إذا حدث المستحيل وانخفض الانبعاث اليوم إلى الصفر. بالإضافة إلى ذلك، من غير المحتمل أن تحافظ حتى أقصى الجهود لخفض الانبعاث على ارتفاع درجة الحرارة بما يقل عن ١,٥-٢ درجة مئوية فوق درجات حرارة اليوم. هذا المدى للتغير الإضافى، الذى لا يمكن الآن تجنبه، يحمل تأثيرات- تأثيرات خطيرة لبعض الناس وبعض الأمكنة- الاستجابة الوحيدة الممكنة لها هى الجمع بين التكيف وتحمل الأضرار الناجمة ببساطة.

سوف يتطلب التكيف الفعال أموالا، تشمل الإنفاق العام والنقل الدولى. ويتطلب بنى مؤسسية جديدة، تشمل شبكات جديدة لتبادل المعلومات والخبرات والوسائل بين المؤسسات المحلية والقومية والدولية فى كل أرجاء العالم. وحتى مع سعى شديد وراء التكيف، يحتمل فقد الكثير مما يقدِّره الناس- الموارد والأصول، والنظم البيئية بشكل خاص. وهكذا تكون إحدى الوظائف الأساسية للتكيف شراء الوقت لتقييم ما يمكن إنقاذه ووضع أولوية له، وما ينبغى التضحية به.

ومع ذلك، لا يمكن لتدابير التكيف وحدها أن تمثل استجابة فعالة لتغير المناخ. سوف تحدد ميول الانبعاثات فى المستقبل مقدار دفعنا لتغير المناخ وسرعته، وكلما كان تغير المناخ أكبر كانت التأثيرات الناجمة أكثر حدة وزادت صعوبة القدرة على التكيف. ويعنى الاعتماد على التكيف مع عدم القيام بأى شىء للحد من سرعة تغير المناخ أو إيقافه عدم وضع حدود لمقدار التغير الذى ينبغى علينا التكيف معه- نقامر بأننا يمكننا بشكل فعال، وبتكلفة مقبولة، أن نتحملها أو نتكيف مع أى قدر من تغير المناخ. إن الدليل قوى على أنها مقامرة حمقاء- بما فى ذلك التكيف بأشكال سيئة مع المناخ الحالى، والاختلاف الواسع بين الناس والمجتمعات فى القدرة على التكيف، والاحتمال الذى لا يمكن تجاهله بأقصى تغيرات وتأثيرات، خاصة فى ظل الانبعاث المرتفع فى المستقبل. للحد من التأثيرات ينبغى علينا نحن وأحفادنا أن نعانى أو نتكيف معها، ومن الضرورى أيضًا أن نقلل الانبعاث الذى يسبب تغير المناخ على أيدى البشر. ويناقش القسم التالى هذه المقاربة للتعامل مع تغير المناخ، وما هو معروف حاليا بشأن الاختيارات التقنية والسياسية المتوفرة لمتابعتها.

٤-٢ الانبعاث واستجابات التعديل

٤-٢-١ ميول الانبعاث والتوقعات

ناقشنا فى القسم ٣-٣ ميول انبعاث غازات البيوت الزجاجية والسيناريوهات المتعلقة بها نتيجة أنشطة البشر المستخدمة لتوقع كيفية تغير المناخ على مدار هذا القرن. هنا، نقدم تفاصيل أكثر عن ميول الانبعاث والتوقعات، والعوامل التى تشكلها، والوسائل المتاحة لتقليلها.

المصدر الأكبر للانبعاث البشرى الذى يساهم فى تغير المناخ هو CO_2 الذى ينطلق نتيجة حرق الوقود الحفرى- الفحم والبترول والغاز الطبيعى. ويعتمد المجتمع البشرى إلى حد بعيد على هذه الأنواع من الوقود، التى تقدم حوالى ٨٠% من مجمل الطاقة المستخدمة على نطاق العالم. فى ٢٠٠٦، كان انبعاث CO_2 نتيجة حرق الوقود الحفرى على نطاق العالم حوالى ٨ بليون طن مترى كربون[١]. تغير استخدام اليابسة، إزالة الغابات أساسًا نتيجة نزع الأشجار، أضاف تقريبا ١.٥ جيجا طن كربون (رغم إن هذه الصورة أساسًا موضع شك أكبر)، مما يجعل إجمالى انبعاث CO_2 نتيجة نشاط الإنسان حوالى ٩.٥ جيجا طن كربون- متوسط عالمى حوالى ١.٤ طن لكل شخص، بافتراض أن سكان العالم ٦.٨ بليون.

---

(١) الطن المترى ١٠٠٠ كجم أو ٢٢٠٠ رطل. أكبر حوالى ١٠% من الطن الأمريكى. بليون طن مترى (أو جيجا طن) من الكربون (*1GtC*). ونذكر كميات ثانى أكسيد الكربون بكتلة الكربون المحتواة فيها. وهناك تقليد بديل، تستخدمه مصادر كثيرة، يذكر الكتلة الإجمالية لجزيء ثانى أكسيد الكربون. وحيث أن الوزن الجزيئي لثانى أكسيد الكربون ٤٤، بينما وزن ذرة الكربون ١٢، فإن انبعاث ١ جيجا طن من الكربون هو نفسه ٣.٦٧ جيجا طن من ثانى أكسيد الكربون.

يساهم انبعاث غازات أخرى عديدة من الصناعات المختلفة والأنشطة الزراعية فى تغير المناخ أيضا. وأهمها الميثان (CH_4)، الذى ينبعث من حقول الأرز، والمطامر، والموشى، واستخراج الوقود الحفرى ومعالجته، بالإضافة إلى العديد من المصادر الطبيعية؛ أكسيد النيتروز (N_2O)، الذى ينبعث من الأسمدة النيتروجينية والعمليات الصناعية، بالإضافة إلى العديد من المصادر الطبيعية؛ والهالوكربونات، وهى مجموعة من المواد الكيميائية الصناعية المخلَّقة تستخدم ملطفات ولها استخدامات صناعية أخرى. برغم انبعاثها بكميات أقل بكثير من CO_2، تساهم هذه الغازات الأخرى المنبعثة من البيوت الزجاجية فى ارتفاع أكبر فى درجة الحرارة بالنسبة لكل طن من الانبعاث وبذلك تمثل إضافة كبيرة لمجمل التأثير الحرارى لثانى أكسيد الكربون. وتختلف أيضًا هذه الغازات عن CO_2 فى طول بقائها فى الغلاف الجوى، وهو ما يحدد الفترة التى يساهم بها الانبعاث الحالى فى ارتفاع الحـــرارة. على سبيـــل المثـــال، لا يبقى انبعاث الميثان فى الغلاف الجوى إلا عشر سنوات تقريبًا، بينما تبقى الهالوكربونات الأكثر ثباتًا عدة آلاف من السنين. يتزايد انبعاث الغازات الرئيسية من البيوت الزجاجية منذ الثورة الصناعية، مع أكبر زيادة فى العقود القليلة الأخيرة. من مجمل التأثير الحرارى الناتج عن زيادة غازات البيوت الزجاجية فى القرنين الماضيين، يساهم CO_2 بالثلثين تقريبًا، وتشكل الغازات الأخرى، غير CO_2، المنبعثة من البيوت الزجاجية الثلث الآخر.

ويبقى أن الملوثات والأنشطة البشرية الأخرى تغير أيضًا التوازن الإشعاعى للغلاف الجوى وتؤثر على تغير المناخ، بطرق أكثر تعقيدًا فى

آلياتها وموضع شك أكبر فى قيمتها الإجمالية. تشكل التغيرات فى أوزون الغلاف الجوى، الذى يزيد نتيجة فى الغلاف الجوى (الطبقة السفلى من الغلاف الجوى) نتيجة أنشطة الإنسان، لكنه يقل فى الاستراتوسفير (الطبقة التى تعلو طبقة التروبوسفير، وتبدأ على ارتفاع ١٠-١٥كم تقريبا)، تشكل إجمالا مساهمة فى ارتفاع الحرارة بنسبة ٢٠% تقريبا مما يشكله ارتفاع CO_2. الملوثات والأنشطة البشرية المتنوعة ترفع غزارة الإيروسولات فى الغلاف الجوى، الجسيمات الصغيرة الصلبة أو السائلة المعلقة فى الغلاف الجوى تبقى فى الغلاف الجوى وقتًا قصيرًا وتساهم بمزيج من تأثيرات ارتفاع الحرارة وانخفاضها. أحد المصادر البشرية المهمة للإيروسولات ثانى أكسيد الكبريت (SO_2)- ملوِّث ينتج عن حرق الوقود الذى يحتوى على الكبريت، وخاصة الفحم- ويشكل قطرات سائلة دقيقة تعكس أشعة الشمس القادمة وتخفض حرارة السطح. ومن الإيروسولات الأخرى الكربون الأسود، وهو مادة قاتمة تنتج عن الاحتراق غير الكامل وتمتص أشعة الشمس وترفع حرارة السطح. وتساهم الإيروسولات حاليا إجمالا بخفض فى الحرارة يساوى تقريبا الارتفاع الناتج عن غازات البيوت الزجاجية، غير CO_2، لكن الشك فى هذا التقدير كبير. عمومًا، إن الأنشطة والملوثات البشرية التى تساهم فى تغير المناخ متنوعة، لكن CO_2 نتيجة حرق الوقود الحفرى يمثل أكثر من نصف الإجمالى.

وهناك اختلافات كبيرة بين الأمم فى مدى مساهمتها فى تغير المناخ، الآن وعبر الزمن. إن البلاد الصناعية، وتمثل حوالى سدس سكان العالم، مسئولة عن ٥٥% تقريبا من انبعاث CO_2 فى العالم حاليا. لفترة طويلة ينبعث من الولايات

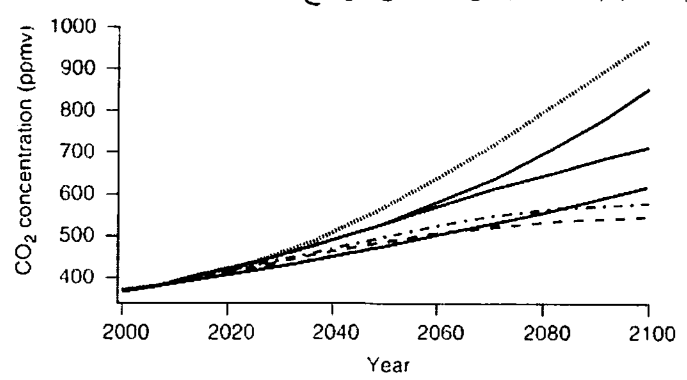
المتحدة، وهى أكبر مصدر للانبعاث، حوالى ٢٠% من CO_2 المنبعث فى العالم، لكن النمو الاقتصادى السريع فى الصين يجعل كمية الانبعاث منها يفوق تلك الكمية المنبعثة من الولايات المتحدة فى سنة ٢٠٠٧. وتكون مشاركة البلاد الصناعية فى الانبعاث العالمى أكبر إذا وضعنا فى الاعتبار الانبعاث التاريخى المتراكم (حوالى ٧٣% من إجمالى CO_2 الناتج عن الوقود الحفرى منذ ١٩٥٠)، وأقل إذا وضعنا فى الاعتبار أنه ليس CO_2 فقط الناتج عن الوقود الحفرى لكن أيضا تغير استخدام اليابسة والغازات الأخرى المنبعثة من البيوت الزجاجية (حوالى ٤٤% من الانبعاث سنة ٢٠٠٠).

قدمنا فى القسم ٣-٣ السيناريوهات الستة المعيارية لميول الانبعاث المحتمل فى القرن الحادى والعشرين الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فى أواخر تسعينيات القرن العشرين. تعرض هذه السيناريوهات الستة انبعاث CO_2 فى العالم، وهو الآن حوالى ٩,٥ جيجا طن كربون فى السنة، مجالا من أقل من ٥ جيجا طن كربون إلى أكثر من ٣٠ جيجا طن كربون فى ٢١٠٠. ويشير هذا المجال الواسع إلى الشك الجوهرى بشأن ميول الانبعاث وتغير المناخ الناجم عنها، ورغم أن التحليلات التالية اقترحت أن الانبعاث قرب قاع هذا المجال غير محتمل تماما دون جهود دولية لخفضه. بالإضافة إلى ذلك، لا يُقدّم تفسير صريح للشك الذى تطرحه هذه السيناريوهات. لا يُنصُّ، على سبيل المثال، عما إذا كان المؤلفون حكموا بأن انبعاث بنسبة ٩٠% يحتمل أن يقع فى هذا المجال، مناقضا، مثلا، لنسبة ٩٩% بشكل محتمل أو أكيد، ولا حتى إن كانوا حكموا بأن منتصف هذا المجال محتمل أكثر من طرفيه.

رغم هذه الشكوك الواسعة فى ميول الانبعاث فى المستقبل، تعرض سيناريوهاتُ أحدثُ بضعةَ أنساق قوية. أولا: لا تؤدى سيناريوهات خط الأساس إلى استقرار المناخ: تعرض معظم خطوط الأساس نموا مستمرا للانبعاث خلال هذا القرن، ونمو الاقتصاد العالمى يفوق الابتكارات التكنولوجية لخفض الانبعاث. تتوقع تحليلات حديثة بشكل نموذجى انبعاث سنة ٢١٠٠ حوالى ٢٠-٢٥ جيجا طن كربون، حوالى ثلاثة أضعاف الانبعاث الحالى. ثانيا: توضح كل السيناريوهات انبعاثا من الدول النامية يفوق الانبعاث من الدول الصناعية الحالية فى العقود القليلة القادمة. ثالثا: توضح السيناريوهات أن الانبعاث حساس بشكل كبير للميول فى موارد الطاقة والتكنولوجيات. إنه تنوع معقول فى هذه العوامل- وخاصة افتراضات بديلة بشأن أين تتحرك الطاقة فى العالم حين يقل النفط والغاز التقليديين الرخيصين، باتجاه الفحم والوقود المصنَّع الذى يحتوى على كربون بنسب مرتفعة أو باتجاه مصادر الطاقة التى لا ينبعث منها غازات- ينتج عنه مجال واسع من الانبعاث فى المستقبل كما هو الحال بالنسبة لأية فرضيات خاصة بالنمو السكانى والاقتصادى فى المستقبل.

ورغم أن السيناريوهات جاءت أساسا لدعم التقييم والتخطيط على المدى الطويل، فقد ولَّد الاختلاف بين السيناريوهات وميول الانبعاث الملاحظ خلافا على مدى العقدين الماضيين، حيث نما الانبعاث فى تسعينيات القرن العشرين أبطأ مما توقعت السيناريوهات السابقة، ثم نما أسرع حتى من سيناريوهات أعلى نمو منذ سنة ٢٠٠٠. زاد الارتفاع العالى حديثا من الاهتمام الذى قد تفهم به السيناريوهات ضغط الانبعاث من التحول الذى

يحدث الآن باتجاه مصادر الوقود الذى يحتوى على نسب أعلى من الكربون مثل الفحم والبترول الثقيل، والرمال النفطية، وهو ما يتوقع استمراره والمصادر التقليدية تنضب والأسعار ترتفع.



الشكل ٤-٢ الغزارة المتوقعة لثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى مؤسسة على سيناريوهات الانبعاث الصادرة عن IPCC والموصوفة فى القسم ٣-٣، بالجزء فى المليون. يمثل الخط المنقط سيناريو A1FI، ويمثل الخط المخطط سيناريو B1، ويمثل الخط المنقط والمخطط سيناريو A1T.

المصدر: بتصرف عن الشكل ١٨ فى Technical Summary, IPCC (2001a).

يوضح الشكل ٤-٢ الميول فى CO_2 فى الغلاف الجوى، التى تنتج عن السيناريوهات الستة البارزة الصادرة عن IPCC. الميول المأخوذة عن كل السيناريوهات متماثلة بالنسبة للعقود القليلة القادمة، تتجاوز ٥٠٠ جزء فى المليون حول منتصف القرن، لكنها تختلف بعد ذلك خلال القرن. بحلول عام ٢١٠٠، تتوقع أقل السيناريوهات توقعا CO_2 حول ٥٥٠ جزءا فى المليون

(ضعف قيمة ما قبل الصناعة)، وتنمو ببطء شديد، بينما تتوقع أعلى السيناريوهات توقعا CO_2 حول ٩٠٠ جزء فى المليون (ثلاثة أضعاف قيمة ما قبل الصناعة) وتستمر فى الارتفاع بشكل حاد. سوف تجلب هذه الاختلافات الكبيرة فى CO_2 فى الغلاف الجوى اختلافات كبيرة فى تغير المناخ، لكن هذه الاختلافات تكبر فقط فى أواخر هذا القرن وفيما بعد.

كما هو الحال بالنسبة لثانى أكسيد الكربون، يتوقع أن تزيد بقية غازات البيوت الزجاجية خلال القرن فى معظم السيناريوهات، وأن تتحول باتجاه البلاد النامية. التوقعات بالنسبة لثانى أكسيد الكبريت (SO_2) والإيروسولات الأخرى أكثر اختلاطًا. عمومًا، تتوقع معظم السيناريوهات هبوطًا فى SO_2 على مدار القرن، حيث إنه تتم السيطرة عليها للحد من الأمطار الحمضية والأشكال الأخرى للتلوث الإقليمى. حيث يساهم هذا الانبعاث حاليًا بخفض الحرارة إجمالا بالتركيز إقليميا، فسوف يساهم تخفيضها فى ارتفاع حرارة المناخ. ومع ذلك تختلف الميول المتوقعة بقوة عبر الزمن والإقليم، مع زيادة كبيرة على المدى القريب متوقعة فى المناطق التى تتجه إلى التصنيع بسرعة لعقود قليلة، ثم يلى ذلك انخفاض.

على ضوء تعقد توقع أنواع متعددة من الانبعاث والإيروسولات، توصَف السيناريوهات باطراد فيما يتعلق بالمساهمة البشرية الكلية فى تغير المناخ، بدلا من حساب كل نوع من الانبعاث منفصلا. مجمل تغير المناخ هو التغير الإجمالى فى سخونة سطح الأرض نتيجة أشعة الشمس والأشعة تحت الحمراء من الغلاف الجوى. وكما ناقشنا فى الفصل الأول، تزيد إضافة غازات البيوت الزجاجية للغلاف الجوى من سخونة سطح الأرض بواسطة

الغلاف الجوى. تبلغ حاليًا محصلة تغير المناخ نتيجة أنشطة البشر (غازات البيوت الزجاجية، والإيروسولات، والتأثيرات الأخرى الأصغر) حوالى ١,٦ وات/م٢- ٢,٦ وات من CO_2 وبقية غازات البيوت الزجاجية والتى تبقى طويلا، تقابل جزئيا بتغير سلبى يبلغ حوالى ١ وات من الإيروسولات والتأثيرات الأخرى. تتوقع سيناريوهات الانبعاث دون تحكم، التى صدرت حديثا عن IPCC وبرنامج علم تغير المناخ فى الولايات المتحدة (CCSP) أن التغير البشرى الناتج عن زيادة غازات البيوت الزجاجية سوف يزيد إلى ٦,٥-٨,٥ وات/م٢ بحلول عام ٢١٠٠، مكافئ لتركيز CO_2 بمقدار ٩٢٠-١٣٩٠ جزء فى المليون.

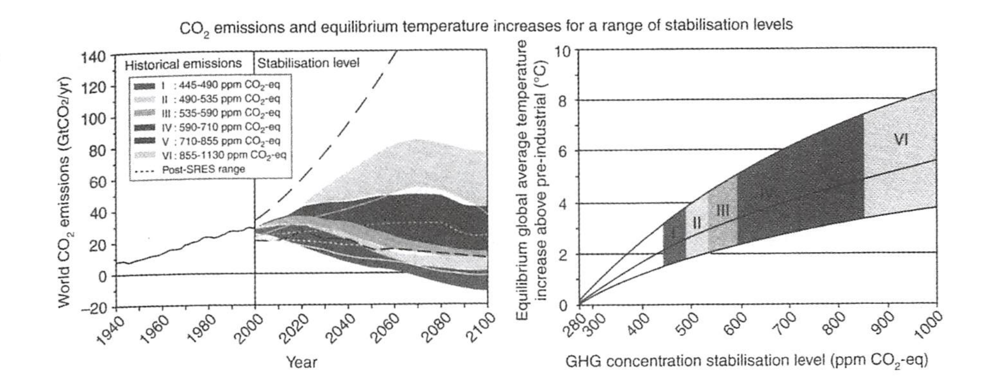
تمثل كل هذه السيناريوهات حسابات جوهرية تتعلق بكيفية نمو الانبعاث فى العالم فى ظل فرضيات معقولة ومتسقة عن ميول النمو السكانى والنمو الاقتصادى والتغير التكنولوجى- واستبعاد أى معوقات أو مفاجآت. نشأت الفرضيات لتقديم معلومات عن الانبعاث من أجل توقعات نموذجية للكيفية التى يُحتمل أن يتغير بها المناخ. لكن سيناريوهات الانبعاث يمكن أيضا أن تؤلف بطريقة مختلفة، لتؤدى غرضا مختلفاً. يمكن بدلا من ذلك أن تشيد حول الأهداف البيئية، وتستخدم بوصفها أدوات لفحص إمكانية تحقق الأهداف ولتقييم الطرق البديلة لتحقيقها. ويتم التعبير عن الأهداف فى هذه السيناريوهات بوصفها حدًا ما فى تغير الغلاف الجوى، مثل حد فى متوسط درجة حرارة العالم، أو التغير الإشعاعى، أو تركيز غازات البيوت الزجاجية.

من هذه الاحتمالات، يرتبط حد درجة الحرارة ارتباطا وثيقا بالتغيرات فى المناخ وتأثيراتها، لكن لأن حساسية المناخ موضع شك، فإن الحد فى غازات البيوت الزجاجية المطلوب ليقابل حد درجة الحرارة موضع شك.

وبشكل مماثل، إذا كُبِحتْ غازات البيوت الزجاجية أو التغير الإشعاعى عند حد ثابت، فإن التغير الناتج فى درجة الحرارة سيكون موضع شك. على سبيل المثال، وجد تحليل حديث أن كبح غازات البيوت الزجاجية عند ٤٥٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2- تقريبا الحد الأكثر صرامة المفترض الآن- لن يقدم تقريبًا إلا بمقدار ٥٠% من الحد من ارتفاع درجة الحــرارة إلــى ٢ درجة مئوية فوق درجة حرارة ما قبل الصناعة. نتيجة لهذا الشك، عبَّرت السيناريوهات عادة عن استقرار الأهداف فيما يتعلق بالتركيز أو التغير الإشعاعى. والأمثلة المبكرة التى تناولت مستويات استقرار بديلة بالنسبة لثانى أكسيد الكربون وحده، عادة ٤٥٠، ٥٥٠، ٦٥٠، ٧٥٠ جزء فى المليون (لنتذكر أن CO_2 زاد تقريبا من ٢٧٠ إلى ٣٨٠ جزء فى المليون على مدار آخر مائتى عام، ويتزايد الآن تقريبا بمقدر ٢ جزء فى المليون كل سنة.) وحين انتقلت المناقشات إلى الحد بشكل مترابط من كل غازات البيوت الزجاجية، تم تعريف سيناريوهات الاستقرار بشكل مطرد فيما يتعلق بالتغير الإشعاعى. على سبيل المثال، تناولت السيناريوهات الحديثة الصادرة عن برنامج علم تغير المناخ فى الولايات المتحدة أربعة مستويات للاستقرار تتراوح من ٣.٤ إلى ٦.٧ وات أعلى من مستوى ما قبل الصناعة (٥٣٠- ٩٧٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2)، بينما تفحص السيناريوهات الجديدة للتقييم القادم الصادر عن IPCC الاستقرار عند ٦، ٤.٥، ٢.٦-٣ وات (تكافئ ٨٥٠، ٦٥٠، ٤٥٠-٤٩٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2) [١].

---

(١) لا يزال هناك مرشحان يوضعان فى الاعتبار بالنسبة لأكثر سيناريوهات التحكم صرامة للاستخدام. وصول الذروة عند ٣ وات أثناء القرن. ثم الهبوط إلى ٢.٦-٢.٩ بحلول ٢١٠٠.



الشكل ٤-٣ العلاقة بين مسارات الانبعاث واستقرار المناخ. توضح اللوحة اليمنى مجال تغير درجة حرارة العالم مرتبطة بالمستويات المختلفة لاستقرار غازات البيوت الزجاجية فى المناخ. وتوضح اللوحة اليسرى مجالات سيناريوهات الانبعاث مرتبطة مع تقابل مختلف أهداف استقرار التركيز فى الغلاف الجوى. يوضح الشريط السفلى أن الاستقرار حول ٢ درجة مئوية ارتفاع فى درجة الحرارة يتطلب كبح التركيز عند ٤٥٠-٥٠٠ جزء فى المليون مكافئ CO2، ويتطلب بدوره هبوط الانبعاث العالمى ٥٠-٨٥% بحلول منتصف القرن.

المصدر: Figure SPM.11, IPCC (2007d)

تميل سيناريوهات الاستقرار إلى أن يكون لها مسارات مماثلة للانبعاث العالمى على مدار الزمن، ارتفاع فى البداية، وصولا إلى القمة، ثم هبوط. كلما كان هدف الاستقرار أكثر إحكامًا، يكون الوصول إلى القمة أسرع

ويهبط الانبعاث بشكل أكثر حدة بعد ذلك. يلخص الشكل ٤-٣، على سبيل المثال، العديد من سيناريوهات الاستقرار التى تضعها IPCC. فى السيناريوهات التى تسعى إلى استقرار عند ٤٥٠-٥٠٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2، يصل الانبعاث إلى القمة قبل ٢٠١٥ ويهبط بنسبة ٥٠-٨٥% (عن مستويات سنة ٢٠٠٠) بحلول منتصف القرن. يؤجل تخفيف هدف الاستقرار إلى ٥٠٠-٥٥٠ جزء فى المليون قمة الانبعاث عقدا أو نحو ذلك ويقلل الانخفاض المطلوب فى منتصف القرن إلى ٣٠-٦٠%. ويبقى أن مزيدا من تخفيف الهدف يؤجل الوصول إلى القمة ويجعل الهبوط بعد ذلك أبطأ.

لا تتخذ مسارات الانبعاث هذا الشكل بالضرورة. هناك مسارات عديدة لكل هدف، بما فيها تلك التى تبدأ بالخفض فورا وأخرى تجعل المستويات الأعلى من الخفض تبدأ مؤخرا. لكن هذا الشكل، بانحراف تدريجى لنمو الانبعاث على المدى القريب يليه مستويات أكبر من الانخفاض، يميل إلى خفض تكلفة الاستقرار لأسباب عديدة. إنه يتجنب التخلى السابق لأوانه عن المعدات الرأسمالية المعمرة مثل محطات توليد الطاقة؛ ويسمح بمزيد من الوقت لتطوير تكنولوجيات جديدة منخفضة الانبعاث؛ وبتأجيل نفقات خفض الانبعاث، يقلل قيمتها الحالية من خلال الخصم[١]. حين تصبح الأهداف أكثر

---

(١) الخصم *discounting* عملية تحويل التكاليف أو الفوائد التى تحدث فى أوقات مختلفة إلى مقيـــاس عام بحيث يمكن تجميعها ومقارنتها. بسبب إنتاجية الموارد الرأسمالية- الدولارات، أو الأشجار أو الأسماك اليوم يمكن أن تصبح مزيدا من الدولارات أو الأشجار أو الأسماك فى العام القادم- تُخصم كميات المستقبل بشكل طبيعى. وتعالج بوصفها مكافئا لكميات أصغر اليوم. ميكانيكيا. يتضمن الخصم بشكل طبيعى ضرب عامل ثابت فى الفترة الزمنية، مكافئ لمعدل ربح مركب ثابت على حساب التوفير. تتراوح معدلات الخصم المستخدمة لتقييم

صرامة، تكون هناك مرونة أقل فى الوفاء بها. ربما تتطلب الأهداف الصارمة بدء الخفض فورًا، وربما تتطلب توسعا أسرع للتحكم فى كل أنواع مصادر الانبعاث، وخاصة الانبعاث من تغير استخدام اليابسة. ربما تتطلب الأهداف الأكثر صرامة ترك التركيز فى البداية يتجاوز الهدف ثم يهبط، من خلال الخفض الشديد فى الانبعاث أو حتى تدابير لدفع محصلة الانبعاث البشرى إلى السالب، من قبيل استرداد CO_2 من الغلاف الجوى.

سواء وضع سيناريو الانبعاث بوصفه توقعا أو غاية، يمكن أن تقدم صورة للانبعاث وحده مجرد نقطة بداية للتفكير فى استراتيجية التعديل. يتطلب فهم السبب الذى قد يجعل الانبعاث يتبع مسارا أو آخر فى سيناريو للتوقع، أو تحديد طبيعة الجهود المطلوبة ليتبع الانبعاث سيناريو للهدف، السؤال عن العوامل التى تجعل الانبعاث يتغير بطريقة ولا يتغير بأخرى، وعن التدابير المتاحة لانحراف هذه الميول. يتحول القسم التالى إلى هذه المسائل.

٤-٢-٢ العوامل المسئولة عن ميول الانبعاث

تتمثل خطوة أولى لفهم ميول الانبعاث وطرق تقليله فى تحليل ميول الانبعاث إلى ميول فى العوامل المسئولة التى نوقشت فى الفصل الثالث: السكان والنمو الاقتصادى (الناتج المحلى الإجمالى للفرد) والتكنولوجيا (كمية CO_2 المنبعث لكل دولار من الناتج المحلى الإجمالى، ويمكن أن يحلل أكثر إلى الطاقة لكل دولار، CO_2 لكل وحدة طاقة). وتؤثر هذه العوامل فى

السياسات العامة ومشاريع الاستثمار عادة من ١% إلى ١٠% سنويا. والمعدلات المستخدمة لتقييم الاستثمارات المفترضة فى القطاع الخاص أعلى عادة. ويناقش دور الخصم فى تقييم الاستجابات لتغير المناخ فى القسم ٤-٣-٢.

بعضها، بالطبع، ومن ثم فهذا التدريب الحسابى لتحليل العوامل لا يعنى أن كل عامل يمكن أن يتغير بشكل مستقل، أو حتى أن أى عامل يمكن التحكم فيه بالضرورة: كل العوامل أوصاف مجتمعة للميول الاجتماعية الاقتصادية. على مدار العقود القليلة الماضية، هبط النمو السكانى فى العالم إلى أعلى قليلا من ١% فى السنة نتيجة النقص الحاد فى معدلات الخصوبة فى الكثير من أرجاء العالم (وليس فيه كله)، بينما نما معدل الناتج المحلى على مستوى العالم بنسبة ١-٢% فى السنة فى المتوسط. ومال التغير التكنولوجى إلى خفض الانبعاث، فقد هبط CO_2 المنبعث لكل دولار من الناتج المحلى الإجمالى أكثر بقليل من ١% فى السنة فى المتوسط على مدار القرن العشرين. وكانت محصلة تأثير هذه الميول أن انبعاث CO_2 نما حوالى ١% تقريبا فى السنة فى المتوسط على مدار القرن العشرين.

يجب أن تحقق أية استراتيجية للحد من سرعة نمو الانبعاث أو عكس هذا النمو مجموعة من التحولات فى ميول هذه العوامل المسئولة: أن تحقق هبوطًا أسرع فى نمو السكان فى العالم؛ أو نموًا اقتصاديًا أبطأ؛ أو تسرِّع الابتكار التكنولوجى. لكن السياسات التى تستهدف صراحة الحد من السكان مستمرة إلى أبعد الحدود. تفترض كل سيناريوهات الانبعاث التى ناقشناها من قبل نموا مستمرا فى سكان العالم، لكن بمعدل متناقص. لكن لأن أسباب نقص الخصوبة حديثًا غير مفهومة، يوجد شك فى الصورة التى يمكن أن تكون عليها السياسات الفعالة لتسريع هذا الميل، حتى إذا تغاضينا عن الخلافات السياسية والدينية والثقافية العميقة التى تستثيرها هذه السياسات.

وإذا صار تدهور الخصوبة أبطأ أو عُكِس، يمكن لنمو الانبعاث أن يتجاوز بسهولة حتى قمة مجال السيناريو الحالى.

السياسات الصريحة للحد من النمو الاقتصادى لصالح البيئة هى، إن أمكن، موضوع أكثر انفجارًا حتى من السياسات الموضوعة للسيطرة على نمو التلوث. يقدم التخلص من الفقر الشديد الذى يعانى منه كثير من مواطنى العالم مبررًا قويًا لنمو الإنتاج الاقتصادى على مستوى العالم، بافتراض أن دخل النمو يصل بالفعل إلى من يحتاجون إليه. لكن حتى فى المجتمعات الثرية، تبقى البؤرة المركزية للسياسات تشجيع النمو الاقتصادى، ولا يوجد دليل على أن رغبة الناس فى استهلاك المزيد يبدو أنها تشبع، باستثناء وحيد وهو الطعام. فى البلاد وبينها، يلبى النمو الاقتصادى أيضا احتياجا سياسيا أكثر حدة: يمكن لمشهد النمو المستمر أن يخرس الضغط السياسى للتخلص من الظلم والمشاكل الاجتماعية، بإعطاء الأمل للمحرومين بتحسن نصيبهم إذا انتظروا. رغم أنه قد مضى وقت طويل على اقتراح أن تراكم المواد الاستهلاكية ينبغى أن يؤدى فى النهاية إلى وقف النمو- بواسطة كُتّاب من الاقتصاديين الكلاسيكيين إلى اقتصادى البيئة ومنظِّرى تقارب التطور- اكتسب هذا الجدل قوة ضئيلة فى المناظرات السياسية. ونتيجة لهذا، تركز سياسات التعديل دائمًا وأساسًا على تشجيع التغير التكنولوجى، لتقليل الانبعاث لكل دولار من الناتج الاقتصادى.

تاريخيًا، أظهر اقتصاد العالم ميلا طويل المدى لتقليل انبعاث CO_2 لكل دولار من الناتج المحلى الإجمالى. وحدث هذا الهبوط نتيجة التحسن فى كثافة الطاقة فى الناتج الاقتصادى (الطاقة للناتج المحلى الإجمالى، أو كمية

الطاقة المستهلكة لإنتاج دولار من الناتج الاقتصادى) وكثافة الكربون فى الطاقة (CO_2 لكل وحدة طاقة، أو كمية CO_2 المنبعث لتوليد جول من الطاقة). هبطت الطاقة للناتج المحلى الإجمالى نتيجة زيادة الكفاءة فى عمليات خاصة بالإنتاج والتحول باتجاه أنشطة أقل استهلاكًا للطاقة (تقليل صناعة الصلب والصناعات الثقيلة الأخرى، وزيادة التصنيع الثانوى والخدمات). هبطت أيضًا كثافة الكربون فى الطاقة، خلال تحول تدريجى من مصادر الطاقة ذات الانبعاث المرتفع (الخشب، ثم الفحم) إلى المصادر ذات الانبعاث الأقل (النفط والغاز الطبيعى، مع بعض الحركة إلى الطاقة النووية والطاقة المتجددة). فى العقد الماضى، مع ذلك، توقف هذا الميل للتخلص من الكربون على مستوى العالم وانعكس فى بعض المناطق، بالاقتراب من قمة إنتاج النفط التقليدى (أو تجاوزها كما يقدر البعض) وبدأت إمدادات الطاقة تتحرك باتجاه المصادر الثقيلة وغير التقليدية مثل الرمال النفطية، والرجوع إلى الفحم.

إن المزيد من الخفض فى كمية الطاقة التى يستهلكها الاقتصاد، أو كمية CO_2 لتوليد هذه الطاقة، يمكن أن يخفض بشكل كبير الانبعاث فى المستقبل، كما توضح الفجوة الهائلة لسيناريوهات الانبعاث المتفائلة والمتشائمة تكنولوجيًا (حتى مع النمو السكانى والاقتصادى ذاته). لكن ما معدلات التحسن المعقول؟ كما نناقش فى القسم التالى، يمكن تحقيق المزيد من التقدم فى نزع الكربون من نظام الطاقة بالتوسع فى استخدام الغاز الطبيعى ليحل محل النفط والفحم وتحول إمدادات الطاقة الجديدة إلى المصادر التى لا يصدر عنها انبعاث. لكن ظروف سوق الطاقة حاليا لا تدعم

هذا التحول، كما يوضح الانعكاس الحديث للميل طويل المدى. إن المزيد من الخفض فى كثافة الكربون يمكن أن يتحقق تقنيا، لكنه سوف يحتاج إلى تضافر الجهود.

انخفضت كثافة الطاقة للناتج المحلى الإجمالى أحيانا بسرعة تصل إلى ٢% سنويا، لكن فترات أسرع انخفاض عكستْ ظروفا خاصة، مثل فترات التحول السريع فى المزيج الاقتصادى أو الاستجابات لصدمات سعر الطاقة. وبالتالى هناك أساس للارتياب فى إمكانية استمرار هذه المعدلات المرتفعة لعقود أو امتدادها إلى العالم. بالنسبة للعالم كله على مدار القرن العشرين، كان متوسط الانخفاض أكثر تواضعًا، حوالى ١% سنويا. تبدو آفاق التقدم فى المستقبل متماثلة فى الكثير من مناطق تحويل الطاقة والاستخدام النهائى. وقد تمت أشكال كبرى من تحسين الكفاءة، سواء عن طريق تراكم الكثير من المكاسب الصغيرة (على سبيل المثال، أشكال التحسين فى المحركات الكهربية ومحركات الاحتراق الداخلى) أو عن طريق ابتكارات منفصلة بالغة التأثير (على سبيل المثال، إضاءة الفلورسنت المدمجة عالية الكفاءة والنوافذ منخفضة الانبعاث). والمكاسب الكبيرة الأخرى ممكنة، بما فى ذلك ابتكارات حُدِّدتْ بالفعل (على سبيل المثال، إضاءة إل إى دى)[١] أو حتى متاحة فورا ومربحة، وأخرى بعيدة المنال وصعبة وموضع شك.

يرى معظم المحللين إمكانية أن يستمر تحسن سنوى فى المتوسط بنسبة ١% خلال القرن، ويقترح البعض أن ارتفاع أسعار الطاقة أو المحفزات

---

(١) *LED*: اختصار *light-emitting diode*، مصدر للإضاءة من أشباه الموصلات (المترجم).

الأخرى يمكن أن يرفع معدل التحسن السنوى المستدام إلى حوالى ٢%. ومع ذلك قد يكون تجمع المكاسب من أشكال التحسن ذات الكفاءة محدودا بالارتباط مع النمو الاقتصادى. ولأن المكاسب ذات الكفاءة تتحقق عادة فى استثمارات فى معدات رأسمالية جديدة، فإن المعدلات العالية من التحسن تتطلب نمواً اقتصاديًا قويًا. بالإضافة إلى ذلك، لأن المكاسب ذات الكفاءة يمكن أن تجعل خدمات الطاقة (على سبيل المثال، قيادة السيارات أو التدفئة أو الإضاءة) أرخص، فقد يستجيب الناس لهذه المكاسب بزيادة الاستهلاك. تختلف تقديرات هذا "التأثير الارتدادى" اختلافًا واسعًا، من ١٠-٢٠% مقابل التوفير الأولى للطاقة فى بعض الدراسات إلى أكثر من ١٠٠% فى دراسات أخرى.

يساعد تصنيف العوامل المسئولة عن ميول الانبعاث على توضيح حجم التحدى فيما يتعلق باستقرار المناخ. خفض الانبعاث المطلوب من أجل الاستقرار- خفض بنسبة ٣٠-٦٠% بحلول عام ٢٠٥٠ ليحدث استقرار عند ٥٠٠-٥٥٠ جزء فى المليون، أو خفض بنسبة ٥٠-٨٥% ليحدث استقرار عند ٤٥٠-٥٠٠ جزء فى المليون- يتضمن خفضا سنويا مستداما فى الانبعاث بنسبة ١% للهدف الأضعف إلى ١.٥% للأقوى. وافتراض الحاجة، على سبيل المثال، إلى ٤% نمو اقتصادى سنوى على مدى هذه الفترة، وهى ما قد يشكل ٠.٥-١% نمو سكانى، ٣-٣.٥% نمو نصيب الفرد من الدخل، يتضمن الحاجة إلى ٥-٥.٥% من الانخفاض فى المعاملين التكنولوجيين معا، أى ٢.٥% نقص سنوى فى كل من الطاقة بالنسبة للناتج المحلى الإجمالى والكربون بالنسبة لوحدة الطاقة.

٤-٢-٣ الاختيارات التكنولوجية لخفض الانبعاث

توضح مقارنة هذه المعدلات المطلوبة للتغير بالخبرة التاريخية التحدى الهائل الذى سيكون عليه الوضع لخفض الانبعاث بهذا القدر. لكن هناك مجموعة كبيرة ومتنوعة من الخيارات التكنولوجية المعروفة متوفرة للسعى لتحقيق هذا الهدف، بالإضافة إلى الكثير من الآفاق الأخرى الأكثر بعدا فى الزمن أو التكلفة أو الثقة فى نجاحها.

بينما يمثل CO_2 المرتبط بالطاقة النصيب الأكبر فى انبعاث غازات البيوت الزجاجية نتيجة أنشطة الإنسان ومن ثم يقدم أعلى فرص التخفيضات، فإن انبعاث الغازات الأخرى- بما فيها CO_2 من الزراعة والغابات واستخدام اليابسة، والغازات الأخرى غير CO_2 متضمنة الميثان، وأكسيد النيتوز والهالوكربونات- يقدم أيضا فرصا مهمة للتخفيض. وهذه الفرص متنوعة: بعض مصادر الانبعاث مثل الميثان من المطامر والحظائر، وخطوط أنابيب الغاز الطبيعى مركزة ومن السهل تحديدها، وقابلة للخفض بيسر، بينما بعض المصادر الأخرى غير مركزية، ومن الصعب تتبعها، وقابلة للخفض أساسا من خلال التغيرات فى الإدارة أو السلوك من قبيل الممارسات الزراعية، وليس من خلال التكنولوجيا. وتقدم هذه المصادر فرصًا جوهرية لتوسيع مجال تخفيضات الانبعاث ومن ثم خفض تكلفة تحقيق هدف محدد. بالنسبة لأهداف الاستقرار الصارم تتزايد هذه المزية الخاصة بالتكلفة، لدرجة أن أكثـــر الأهـــداف صرامـــة، مثل ٤٥٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2، ربما لا يكون ممكنا إلا إذا تضمن انبعاث استخدام اليابسة والغازات الأخرى غير CO_2. فى كثير من الحالات، مع ذلك، تكون وسائل التحكم فى هذا الانبعاث

وسياسات تحفيز أساليب التحكم أكثر صعوبة فى تحديدها وتنفيذها مما عليه الحال بالنسبة لانبعاث CO_2 المرتبط بالطاقة.

بالنسبة لانبعاث CO_2 المرتبط بالطاقة، تكمن أكثر فرص الخفض الفورى فى زيادة كفاءة استخدام الطاقة، ومن ثم خفض استخدام الطاقة بالنسبة للناتج المحلى الإجمالى. ويجد التحليل الهندسى عادة فرصا كثيرة متاحة بتكلفة منخفضة وربما حتى بتكلفة سلبية، من خلال مبادرات من قبيل أبنية وتدفئة وإضاءة ومعدات إلكترونية أكثر كفاءة، وحفظ الماء الساخن. وجد تحليل حديث فرصا لتخفيض الانبعاث فى الولايات المتحدة بنسبة ٢٠% بتكلفة هامشية سلبية وأكثر من ٤٠% بتكلفة هامشية أقل من ١٨٠ دولار/طن كربون[١]. وهناك دليل ثابت على أن هذه الخيارات ذات الكفاءة التى تبدو جذابة لا يتم تبنيها، مع ذلك، مما يوحى بتكاليف خبيئة لم تتوصل لها التحليلات الهندسية، أو بأن فشل الأسواق يعوق الاعتماد. وقد تكون المكاسب الكبيرة ممكنة أيضًا فى النقل، من التحسين الكفؤ فى التكنولوجيات الحالية لقيادة القطارات ومن التحـــول إلى أوعيـــة جديـــدة للطاقـــة مثل الكهرباء أو الهيدروجين، رغم أن التكلفة والمكاسب الحقيقية المنجزة تعتمد على نظام

---

(١) التكلفة الهامشية لتخفيض معين فى الانبعاث هى تكلفة تخفيض الطن الأخير للوصول إلى الخفض الإجمالى المحدد. بمصطلحات حساب التفاضل والتكامل، التكلفة الهامشية مشتقة التغير أو معدله، للتكلفة الإجمالية بالنسبة للكمية التى تم تخفيضها. التكلفة الهامشية لتخفيض معين يختلف عادة عن متوسط التكلفة، لأن الوحدات القليلة الأولى من الخفض هى الأرخص فى تنفيذها، وتصبح التخفيضات الإضافية أكثر صعوبة وتكلفة. وبالتالى، كلما زادت تخفيضات الانبعاث، زادت التكاليف الهامشية بشكل أسرع من التكاليف المتوسطة، وتستمر لتشمل تأثير التخفيضات المبكرة الرخيصة.

الطاقة فى مجمله- أى الكيفية التى يتم بها إنتاج الكهرباء أو الهيدروجين- وليس المرُكبات فقط.

تأتى فرص أخرى، وخاصة على المدى الأطول، من خفض كثافة الكربون، الانبعاث لتوليد كل وحدة طاقة، من خلال تحول إمدادات الطاقة إلى المصادر والتكنولوجيات ذات الانبعاث المنخفض أو عديمة الانبعاث. إن الأنواع الأساسية لتكنولوجيا للطاقة تحافظ على المناخ معروفة جيدا، وتشمل المصادر المتجددة مثل الشمس والرياح والوقود الحيوى؛ الانشطار النووى وربما الاندماج النووى مستقبلا؛ وفصل الكربون، وبه يتم اصطياد CO_2 الناتـج عـن حـرق الوقـود الحفـرى وتخزينه فى مستودعات بيولوجية أو جيولوجية بدلا من أن ينطلق فى الغلاف الجوى.

تقـدم بالفعل مصادر الطاقة المتجددة نسبة مئوية من الطاقة العالمية. لا يمكن، مع ذلك، التوسع أكثر فى أكبر مصدرين متجددين -خشب الوقود والطاقة الكهرومائية- بينما المصادر المتبقية -الشمس والرياح والحرارة الجوفية والمحيطات (الحرارة والمد والجزر والأمواج)- لا تمثل مجتمعة تقريبا إلا ١% من الطاقة المستخدمة فى العالم حاليا. يتم التوسع فى استخدام قوة الشمس والرياح بسرعة فى كل أرجاء العالم، لكن من قاعدة صغيرة جدًا. إنهما بالفعل منافسان على مستوى التكلفة فى بعض التطبيقات المتخصصة، وبشكل أساسى المواضع البعيدة عن شبكة الكهرباء، بينما التوربينات الحديثة التى تستخدم الرياح على نطاق واسع بأحجام تصل إلى عدة ميجا وات تنافس باطراد حتى فى أنظمة القوة المتمركزة فى الأماكن التى تكثر فيها الرياح، مما يسمح للرياح أن تمد بلادا قليلة بنسبة ١٠-٢٠%

من الكهرباء- رغم أن البلاد التى تتوسع فى استخدام الرياح والشمس بسرعة تقدم لهما إعانات كبيرة.

يمكن للابتكارات الإضافية المستمرة لزيادة كفاءات التحويل وخفض التكاليف أن تسمح بمزيد من التوسع فى هذه المصادر. وهناك أيضًا آفاق للتوسع فى استخدام الطاقة الحيوية، زراعة محاصيل سريعة النمو وحرقها بكفاءة لتوفير طاقة لا ينبعث منها CO_2 فى المحصلة، بشرط أن تتم الزراعة بشكل مستدام. التكنولوجيات الحالية للوقود الحيوى متنوعة بشدة فى استدامتها- يعتمد بعضها بكثافة على الموارد الخارجية للوقود الحفرى- والتوسع على نطاق واسع فى الوقود الحيوى قد يحمل خطر التنافس على اليابسة مع إنتاج الغذاء والحفاظ على الغابات والتنوع الحيوى.

لكن معظم المصادر المتجددة تعانى من شكلين من أشكال القصور يعوقان قدرتها على أن تمتد لتشكل نسبة كبيرة من الطاقة المستخدمة فى العالم. إن قوتها منخفضة الكثافة، وهكذا توفر قدرا كبيرا من القوة التى تتطلب تجهيزات تغطى مناطق كبيرة، لتجميع الموارد ونقل الطاقة إلى مراكز الطلب. على سبيل المثال، تتطلب تلبية قدر جوهرى من احتياج الولايات المتحدة للكهرباء بالقوة الشمسية مجموعة شمسية من آلاف الكيلومترات المربعة، غالبا فى موقع صحراوى بعيدا عن مراكز التحميل الرئيسية. والوقود الحيوى محدود بالتمثيل الضوئى ربما حتى كثافة قوة أقل، حوالى ٠.٦ وات/م٢، وهكذا قد يتطلب توفير قدر جوهرى من الطاقة العالمية بهذه الطريقة زراعة أرض بمحاصيل الطاقة تماثل الأرض الزراعية حاليا على نطاق العالم. بالإضافة إلى ذلك، تقدم الشمس والرياح الطاقة بشكل

متقطع فقط- حين تكون الشمس ساطعة أو الرياح عاصفة- ومن ثم تحتاجان إلى نظم احتياطية أو لتخزين الطاقة لتوليدها بشكل يعتمد عليه طوال اليوم وطوال العام. بينما يمكن مبدئيا حدوث توسع هائل فى الطاقة المتجددة- تصل التقديرات بمجال أقصى لإمدادات عملية إلى ٣٠ تريليون وات[١]، ضعف إمدادات الطاقة الحالية فى العالم- فقد يعتمد مثل هذا التوسع على هذه المشاكل المتعلقة بالوضع والنقل وتخزين الطاقة.

المصدر المتجدد الذى يتجنب بأفضل صورة المشاكل المتعلقة بانخفاض كثافة القوة وتقطعها يمكن أن يكون الطاقة الشمسية التى تجمع فى مجموعات فى الفضاء وتنقل إلى محطات استقبال على الأرض. لأن ضوء الشمس أقوى ومتاح دائما فى الفضاء، فإن مساحة المجموعة المطلوبة قد تكون فقط حوالى عشر المساحة المطلوبة على سطح الأرض لتوليد القوة ذاتها. ما يعمل ضد هذه المزية التكلفة العالية لإطلاق المادة فى الفضاء، حاليا عدة آلاف من الدولارات لكل كجم. ولأن هذا قسم كبير من إجمالى التكلفة المقدرة للنظم الشمسية الفضائية، فإن توقع تخفيضات كبيرة فى تكاليف الإطلاق يمكن أن يخفض بحدة التكاليف الإجمالية للنظام- مما يجعلها منافسة للقوة الشمسية على السطح، أو حتى للوقود الحفرى- لكن هذه التخفيضات المتوقعة تبقى شكلا من أشكال المضاربة.

الانشطار النووى والاندماج النووى، مثل المصادر المتجددة، مصادر للطاقة لا ينبعث منها CO_2 إلى الغلاف الجوى. استخدمت مفاعلات الانشطار

(١) تريليون وات TW: 10^{12} وات (المترجم).

النووى، التى تولد طاقة بشطر ذرات اليورانيوم أو البلوتنيوم، على نطاق واسع فى كل أرجاء العالم لعقود. ومع ذلك توقف بناء مفاعلات جديدة فى سبعينيات القرن العشرين للاهتمام بالأمان، وصرف المياه، والسياحة، وأخطار انتشار الأسلحة النووية من تحويل وقود المفاعل. وتبقى مفاعلات الاندماج، التى تولد الطاقة بدمج ذرتين من الهيدروجين لتخليق ذرة هليوم، فى طور الإنشاء بعد عقود من البحث.

إن إمكانية أن تساهم القوة النووية مساهمة كبيرة فى طاقة العالم بحلول منتصف القرن، معرضة لمعوقات وشكوك كبيرة متبقية. تحمل تصميمات مفاعل جديد للانشطار وعدًا بتحسن الأمان بشكل كبير، ويبقى احتمال حل مشكلة التخلص من النفايات تقنيًّا، إن لم تحل سياسيا. وتبقى مخاطر الأمان التحدى الأكثر حدة للتوسع على نطاق واسع فى الاندماج- الدمار والسياحة وتحويل الوقود إلى صنع الأسلحة- وهو ما قد يكون غير قابل للتغلب عليه. وقد اقترح أيضًا أن موارد اليورانيوم فى العالم قد تكون غير كافية لصناعة مستديمة على نطاق واسع للانشطار دون معالجة كيميائية للوقود، وهى عملية يحتمل أن تزيد من مخاطر تحويل غير مشروع للوقود لصناعة أسلحة. يبقى الاندماج موردا بعيد المنال، لا يزال فى انتظار طفرات تقنية لابد أن تسبق قابلية التطبيق على المستوى التجارى، وهكذا لا يمكن توقع مساهمة مهمة منه بشكل معقول على الأقل لعدة عقود.

المسار التكنولوجى الرئيسى الأخير لخفض انبعاث CO_2 هو حرق الوقود الحفرى، لكن بطريقة تطلق قدرا ضئيلا من CO_2 إلى الغلاف الجوى أو لا تطلقه على الإطلاق، من خلال تكنولوجيات لاصطياد الكربون

وتخزينه. هناك عدة مقاربات واعدة. تتضمن إحداها تحليل الوقود الحفرى قبل حرقه إلى مكوناته الكيميائية الرئيسية، الهيدروجين والكربون. يحرق الهيدروجين لإنتاج الطاقة، باعثا غالبا بخار ماء غير مؤذ. ويحرق الكربون فى خزان على المدى الطويل تحت الأرض أو تحت سطح البحر. ويوحى التقدم الحديث فى هذه التكنولوجيات بأن هذه المقاربة قابلة للتطبيق تقنيا، وهى متسقة مع النظم الحالية للطاقة، وقد تكون تكلفتها أساسا أقل من تكلفة المصادر الحالية المتجددة أو النووية. ويتمثل الشك الأساسى فى هذه المقاربة فى إمكانية توفير مواضع تخزين CO_2 واستقرارها لفترات طويلة. إذا كان التخزين غير ثابت، أو كان الكربون المخزون يعود إلى الغلاف الجوى بسرعة كبيرة- أسرع من بضعة آلاف من السنين، فى المتوسط- فإن المقاربة لن تكون فعالة. ويوحى بحث مبكر بأن بعض مواضع العزل، بما فى ذلك حقول النفط والغاز التى نضبت، والطبقات الصخرية المائية الملحية العميقة، وطبقات الفحم العميقة، وربما أعماق المحيط بالنسبة لبعض الأشكال الكيميائية من الكربون، ثابتة بشكل يعول عليه لفترات أطول. ورغم أن أمان هذه الخزانات وثباتها يحتاج إلى مزيد من البحث وتقييم دقيق للأخطار المصاحبة، يبدو حاليا أن اصطياد الكربون وتخزينه يحمل وعدا كبيرًا بخفض الانبعاث، وخاصة على مدار العقود القليلة القادمة حين يبقى الوقود الحفرى المصدر الرئيسى للوقود فى العالم.

يمكن أيضًا عزل الكربون بيولوجيا، فى الأشجار أو التربة، رغم أن حجم هذه الخزانات وإمكانية بقائها، وعرضتها للأحداث المفاجئة مثل حرائق الغابات أو التحلل السريع المرتبط بارتفاع حرارة العالم يجعله يبدو واعدا

بشكل أقل من العزل الجيولوجى. النظم التى تجمع الوقود الحيوى المتنامى لإنتاج الطاقة مع فصل الكربون الناتج وعزله، وأيضًا النظم التى تصطاد CO_2 مباشرة من الغلاف الجوى، تبدو واعدة.

عمومًا، تختلط آفاق خفض حاد فى الانبعاث فى العالم من خلال الابتكار التكنولوجى. من ناحية، يمثل خفض الانبعاث لاستقرار تغير المناخ مشكلة تقنية قابلة للحل: هناك عدة طرق تكنولوجية ممكنة لتوفير طاقة دون انبعاث غازات البيوت الزجاجية. ومن الناحية الأخرى، لا يوجد مصدر من هذه المصادر خالٍ من المشاكل أو إمكانية إثارة الصراع. التوسع الهائل فى مصادر الطاقة الآمنة للمناخ مطلوب لاستقرار المناخ عند مستويات تتسم بحذر معقول. فى ظل سيناريوهات المجال المتوسط للطلب على الطاقة، ربما تتراوح الإمدادات الجديدة المطلوبة من الطاقة الآمنة للمناخ بحلول ٢٠٥٠ بين ما يعادل تقريبا إجمالى إمدادات الطاقة فى العالم اليوم، إلى ضعف هذه الكمية أو ثلاثة أضعافها.

عند هذه المعدلات من الانتشار، سوف تواجه المصادر الجديدة كلها اختناقات شديدة فى الإمدادات وحتى التى قد تبدو حميدة أكثر سوف تجلب تأثيرات بيئية كبيرة ومعارضة سياسية مصاحبة لها. بالإضافة إلى ذلك، إن مشكلة التعديل كبيرة جدا بدرجة تجعلنا لا نحد من استجابتنا للتكنولوجيات التى نفضلها الآن: لا يمكن أن نعرف أى مزيج من التكنولوجيات يتبين أنه ناجح ومقبول اجتماعيا، وهكذا من منظور المشاكل المحتملة معها جميعا، باستثناء أى مرشح رئيسى مقدمًا- وخاصة باستثناء النووى أو اصطياد الكربون وتخزينه (CCS) من المزيج- قد تتعرض للخطر قدرتنا على تحقيق

أهـــداف صارمة لاستقرار المناخ. أخيرا، باستثناء الفرص منخفضة التكلفة أو سلبية التكلفة فى المحافظة والتحسن الذى يتسم بالكفاءة- الذى ربما لا تنتزع إلا جزءا صغيرا من المشكلة- تتكلف مصادر الطاقة الآمنة للمناخ أكثر من المصادر التقليدية التى تنبعث منها الغازات التى ستحل محلها. وبالتالى، لن تنتشـــر- مـــن المؤكـــد بالمعدل السريع المطلوب- دون سياسات لتشجيعها أو فرضها. يناقش القسم التالى الأشكال التى قد تكون عليها هذه السياسات.

٤-٢-٤ استجابات السياسة القومية

لن تتخذ الحكومات غالبا سياسات لتطوير تكنولوجيات الطاقة الآمنة للمناخ أو لنشرها بهدف الحد من سرعة تغير المناخ. فى الحقيقة سوف يتخذ مثل معظم القرارات الاقتصادية، آلاف الأفراد أو الملايين والمنظمات لأغراضها المتنوعة، استجابة لفهمها الخاص للفرص الحالية والتكاليف والأخطار، وظنونها بشأنها فى المستقبل. لكن سياسة الحكومة تلعب دورا رئيسيًا فى التأثير على هذه الملايين ذات الاختيارات الخاصة، بتشجيع قدرة الممثلين الخاصين على القيام باختيارات مفضلة اجتماعيا، مقدمة معلومات لتسهيل هذه الاختيارات، وبشكل حاسم، بتغيير فهمهم للفرص والتكاليف والأخطار التى تشجع اختياراتهم- أى محفزاتهم.

يمكن لأنواع كثيرة من السياسة العامة أن تؤثر على هذه القرارات وهكذا تغير ميول الانبعاث، بما فى ذلك الضريبة العامة وسياسة الإنفاق الحكومى، لكن هناك أربعة أنواع من السياسة ترتبط بشكل خاص وموجه

صراحة لخفض الانبعاث. وتشمل، الإجراءات المنظمة المعتمدة على السوق مثل ضرائب الانبعاث أو تصاريح الانبعاث القابلة للتداول، والإجراءات التقليدية، والإنفاق العام المباشر، والمبادرات المتنوعة التى تعتمد على المعلومات والتعليم والأعمال التطوعية.

الآليات المعتمدة على السوق

الآليات المنظمة المعتمدة على السوق هى السياسات البيئية الجديدة الأكثر بروزا على مدار آخر ١٠-٢٠ سنة. تسعى هذه السياسات لتحقيق الأهداف البيئية بتقديم حوافز تعمل من خلال الأسواق، يكون للأفراد الحق فى اختيار استجابتهم بشأنها. للسيطرة على انبعاث غازات البيوت الزجاجية أو الملوثات الأخرى، يوجد شكلان رئيسيان من السياسات المعتمدة على السوق: رسوم الانبعاث أو ضريبته، وتسمى عموما "ضريبة الكربون" حين تطبق على انبعاث غازات البيوت الزجاجية، أو نظام تصاريح الانبعاث القابلة للتداول، وتسمى غالبا نظام "الذروة والتجارة". فى ظل ضريبة كربون، على كل مَصْدر أن يدفع ضريبة خاصة مقابل انبعاث كل طن من التلوث. فى ظل نظام الذروة والتجارة، على كل مصدر أن يحمل تصريحا لكل طن ينبعث منه. توزع الحكومة التصاريح فى البداية، بعد ذلك قد تشتريها مصادر الانبعاث وتبيعها فيما بينها.

مزية هذه السياسات المعتمدة على السوق المرونة التى تمنحها لمصادر الانبعاث فى كيفية الاستجابة. إنها لا تحدد الكمية التى ينبغى على كل مصدر

تخفيضها، لكنها تدع كل مصدر يختار الكمية التى تنبعث منه، طالما يدفع الضريبة أو يحمل تصريحا للانبعاث الذى يختاره. التأثير الأساسى لأية سياسة منهما جعل الانبعاث مكلفا. يواجه كل مصدر انبعاث تكلفه على كل طن ينبعث منه، مما يحفز هذه المصادر على خفض الانبعاث الصادر عنها لتجنب التكلفة. فى ظل وجود ضريبة، سوف يخفض كل مصدر حتى تكون التكلفة الهامشية للطن التالى مساوية لمعدل الضريبة: حتى تلك النقطة، تقوم بعمل التخفيضات الأرخص المتاحة لها بدلا من دفع الضريبة، بينما بعد هذه النقطة تدفع الضريبة بدلا من القيام بالتخفيضات الأكثر تكلفة والمتاحة لهم. فى ظل الذروة والتجارة، يتم تحديد سعر تصاريح السوق بواسطة المهن التى بها مصادر انبعاث ذات تكاليف هامشية أعلى، التى ستدفع لشراء تصريح بدلا من القيام بالتخفيضات المتاحة الأكثر تكلفة، تشترى تصاريح من المصادر ذات التكاليف الهامشية الأقل، التى تفضل القيام بالتخفيضات الأرخص المتاحة لها للحصول على الثمن من بيع تصريح. إذا تم تحديد السياسة فى المستوى المناسب من الصرامة- معدل الضريبة أو عدد التصاريح التى يتم توزيعها- وإذا استجابت مصادر الانبعاث لهذه الحوافز بشكل معقول، فسوف يؤدى ذلك إلى التوزيع المثالى للانبعاث من المنظور الاجتماعى، فيما يتعلق بكل من الانبعاث الكلى وتوزيع الانبعاث بين المصادر.

يُفترَض غالبا هذان الشكلان من السياسة بوصفهما العنصر المركزى لاستراتيجية تعديل تغير المناخ. تُفرَض ضريبة كربون على الوقود الحفرى متناسبة مع ما يحتويه هذا الوقود من الكربون. يمكن أن تُحصَّل الضريبة عند نقاط متنوعة فى نظام الطاقة، بداية من استخراج الوقود إلى نقطة

الانبعاث. إحدى المقاربات، وقد افتُرضتْ غالبا لتسهيل الإدارة، تطبيق الضريبة "عند المنبع" حيث يستورد الوقود أو ينتج (أى، عند منجم الفحم أو بئر النفط)، مع ضريبة ائتمان تمنح عند تحويل الوقود إلى استخدام لا يصدر عنه انبعاث مثل التصنيع البتروكيميائى أو العزل لفترات طويلة. وتدمج الضريبة فى سعر الوقود وهو يمر خلال الاقتصاد، رافعا سعر كل البضائع والخدمات التى تستخدم طاقة الوقود الحفرى. سوف يتحقق نظام الذروة والتجارة بطريقة مماثلة: يتطلب الأمر تصريحًا لمحتوى الكربون لاستخراج وحدة من الوقود الحفرى أو استيرادها، ويمنح تصريح جديد مقابل كل وحدة من الكربون تُعزل بشكل ثابت أو تُدمج فى استخدام لا يصدر عنه انبعاث. وتتتبع تكلفة التصريح، كما هو الحال فى ضريبة الكربون، الوقود خلال الاقتصاد، رافعة سعر البضائع والخدمات التى تعتمد على الكربون.

بشكل بديل، يمكن تحقيق ضريبة كربون أو نظام الذروة والتجارة "عند المصب"، عند نقطة حرق الوقود وانبعاث CO_2. وهذه مقاربة النظام التجارى للانبعاث فى الاتحاد الأوروبى، وتتطور الآن فرضيات الذروة والتجارة على مستوى الولايات والمستوى الفيدرالى فى الولايات المتحدة. لتكون نظم المصب ممكنة إداريا عليها أن تحد من مجالها إلى عدد صغير من المصادر الكبيرة التى يصدر عنها انبعاث ثابت، عادة محطات توليد الكهرباء والمرافق الصناعية الكبيرة. ويؤدى هذا إلى تضييق مشاركة الاقتصاد الذى يواجه سعر الانبعاث الناتج.

تهدف ضرائب الانبعاث وأنظمة الذروة والتجارة إلى تقديم حوافز ثابتة من أجل التعديل، لكنهما يختلفان فى بعض الأبعاد المهمة. لأن ضريبة

انبعاث تفرض على كل وحدة من الانبعاث، تنقل الضرائب الثروة من مصادر الانبعاث إلى الحكومة. سيجعل نظام التصاريح الثروة نفسها تنتقل إذا كان على مصادر الانبعاث، كما يفترض غالبا، أن تشترى التصاريح فى مزاد. فى الأنظمة الموجودة، مع ذلك، لا تطرح التصاريح فى مزاد عادة، لكنها تمنح مجاناً، لمصادر الانبعاث حاليا. أنظمة الذروة والتجارة، مطبقة بهذه الطريقة، أقل تكلفة بكثير لمصادر الانبعاث حاليًا وهكذا تلقى معارضة أقل وأسهل فى سن قوانينها.

يختلف أيضا تأثير أنظمة ضرائب الانبعاث والذروة والتجارة حين يكون هناك شك بشأن تكاليف تخفيض الانبعاث وفوائده. يثبت نظام التصاريح الكمية الإجمالية المنبعثة، بصرف النظر عن تكلفة الخفض إلى ذلك المستوى. ويثبت نظام الضريبة تكلفة الوحدة الأخيرة من الانبعاث التى يجب خفضها- لأن مصادر الانبعاث تخفض حتى يكون دفع الضريبة أرخص من القيام بمزيد من التخفيض، ثم تتوقف- بصرف النظر عن مقدار الانبعاث الذى خُفِّض بالفعل للوصول إلى هذه النقطة. بالتالى، حين تكون تكاليف تخفيض الانبعاث وفوائده موضع شك، يعتمد تفضيل النظام على أى من هذه الكميات- الكمية الإجمالية التى خُفِّضتْ، أو التكلفة الهامشية لعمليات التخفيض- أكثر أهمية.

فى المناظرة الحالية حول هاتين المقاربتين، يوجد انفصال متنامٍ بين آراء الاقتصاديين والمحللين الآخرين، والاتجاه الرئيسى للفعل السياسى. يحدد الخبراء باطراد أن مقاربات ضريبة الكربون مفضلة مقارنة بأنظمة الذروة والتجارة، لأسباب عديدة. الأول: لأن تغير المناخ يعتمد على الانبعاث

المتراكم عبر السنين والعقود وليس على الانبعاث فى سنة معينة، يمكن التحكم فى ضريبة الكربون عبر الزمن طبقًا للاحتياج لتوجيه الانبعاث باتجاه هدف معين لاستقرار المناخ، بينما تضع حدًا واضحا على تكاليف التعديل فى أية سنة. الثانى: تسمح ضريبة الكربون بأن تكون كثافة حافز خفض الانبعاث محددة بدقة ومختلفة عبر الزمن. فى المقابل، جربت أنظمة الذروة والتجارة التقلب الشديد فى السعر على المدى القصير، مما ركز الانتباه على الفرص التجارية قصيرة المدى وأعاق محفزات الابتكارات والاستثمارات طويلة المدى اللازمة لخفض الانبعاث. الثالث: من المحتمل أكثر أن تخلق أنظمة الذروة والتجارة أصولا قيمة لممثلى القطاع الخاص، ومن ثم تضع أخطارًا أكبر على الانتقالات والخلافات والفساد، خاصة فى نظام دولى بمعايير مختلفة للإنجاز والتنفيذ. ولكن رغم هذه المزايا التى تبدو قوية بالنسبة لنظم تعتمد على الضرائب، واقعيا كل الفرضيات السياسية الحالية بالنسبة لسياسات التعديل المؤسسة على السوق هى نظم الذروة والتجارة.

ثمة طريقة لكسب بعض مزايا كل من نظم ضريبة الكربون والذروة والتجارة وهى تكوين نظم هجين أو خليط. ومنها أشكال عديدة ممكنة. يمكن لنظام الذروة والتجارة أن يتضمن حدودًا للسعر لتقييد تقلب السعر والإيجارات الخاصة- أدنى سعر عنده تعيد الحكومة شراء التصاريح إذا كانت الذروة فضفاضة جدًا، أو أعلى سعر أو "صمام أمان" عنده تبيع الحكومة تصاريح إضافية إذا كانت الذروة محكمة جدا وكان السعر مرتفعًا بصورة غير متوقعة. ربما تتضمن نظم هجين أخرى ضريبة انبعاث بحدود كَمِّيَة، وهكذا يمكن رفع الضريبة إذا تجاوز الانبعاث أو معدل نموه عتبة

معينة، أو خفضها إذا هبط الانبعاث أسرع من المتوقع؛ أو لا تفرض ضريبة على كل مستويات الانبعاث، لكن فقط على المستويات فوق خط أساس معين، مع خصم بالنسبة للمستويات تحت خط الأساس.

سـواء أخـذت السياسات المعتمدة على السوق شكل ضريبة كربون، أو نظام الذروة والتجارة، أو شكلا هجينا، فإن السياسة تحدد كلا من مستوى تجمع خفض الانبعاث، وسعر مقيد للانبعاث أو التكلفة الهامشية. وضحت كل تحليلات سيناريوهات استقرار المناخ أن التكلفة الهامشية، السعر على الانبعاث، **ينبغى** أن يرتفع بمرور الزمن ليقدم حوافز للاستثمار طويل المدى والابتكارات التكنولوجية المطلوبة لتخفيض الانبعاث، رغم أن تقديرات النماذج المختلفة لسعر الانبعاث المطلوب تختلف اختلافا جوهريًا خاصة بعد منتصف القرن.

القواعد التقليدية

كانت معظم السياسات البيئية المشتركة، قبل الاهتمام الحديث بالسياسات المعتمدة على السوق، قواعد تحدد هدفا للأداء يجب على كل مصدر للانبعاث– على سبيل المثال، مصنع، أو مزرعة، أو مُنْتَج– أن يلبيه. يمكن تعريف أهداف الأداء بطرق مختلفة، على سبيل المثال، إجمالى الانبعاث من ملوث كل عام، أو تركيز ملوث فى الانبعاث، أو الانبعاث لكل وحدة من عملية (على سبيل المثال، قواعد لعوادم السيارات تعرف بالجرام المنبعث من ملوث لكل ميل قيادة). حُدِّدتْ بضع قواعد بيئية وليس فقط

أهداف الأداء ولكن أيضا تكنولوجيات أو عمليات خاصة لتحقيقها، لكن هذه أقل شيوعًا. قد يشمل التنظيم التقليدى لغازات البيوت الزجاجية الحد من الانبعاث من نباتات معينة أو أنواع معينة من الآلات.

جلبت قواعد من هذا النوع تحسينا بيئيا كبيرا على مدار الأعوام الثلاثين الأخيرة، ولكنها انتُقِدتْ لأنها تتكلف أكثر من المطلوب لتحديد منفعة بيئية معينة. وهناك سببان لعدم كفاءتها. الأول: حين تُفرَض أهداف متماثلة على مجموعة من مصادر الانبعاث (على سبيل المثال، ينبغى تخفيض كل مصنع بنسبة ٢٠%)، ربما تختلف مصادر الانبعاث فى تكلفتها الهامشية للتخفيضات. وحين يحدث هذا، يحتمل تحقيق المنفعة البيئية نفسها بتكلفة أقل بتحويل التخفيضات بين المصادر، بالخفض أكثر حيث تكون التخفيضات أرخص (تكاليف السيطرة الهامشية أقل)، وأقل حيث تكون أكثر تكلفة (التكاليف الهامشية أعلى). وتقدم معايير الأداء أيضا حوافز غير كافية لابتكارات خفض الانبعاث، لأن معظم فوائد هذه الابتكارات تأتى من خفض تكلفة التخفيضات فى وجود المزيد من المعايير، وهو ما لا يطلب من مصادر الانبعاث القيام به فى ظل هدف الأداء. كان هذا النقد مبالغًا فيه أحيانًا، لكنه صحيح أساسا وهو السبب فى أن معايير الأداء التقليدى تم التغلب عليها بالآليات المعتمدة على السوق منذ سنة ١٩٩٠.

الإنفاق العام

يمكن أن يكون الإنفاق الحكومى أدوات للسياسة البيئية بعدة طرق، على سبيل المثال، ببيع المنتجات صديقة البيئة (على سبيل المثال، المركبات

ذات الكفاءة) للعمليات الحكومية حتى لو كانت تحمل قيمة قسط التأمين. يتمثل الدور الأكبر للإنفاق العام المباشر فى سياسة التعديل، مع ذلك، فى الأبحاث المدعومة حكوميا وتطوير تكنولوجيات طاقة متقدمة. وهناك مجادلات قوية بشأن الاستثمار العام فى أبحاث الطاقة وتطويرها- وسيلة لتسهيل تخفيضات الانبعاث، وتصحيح انهيار السوق الذى نشأ عن طبيعة المصلحة العامة للبحث والتطوير، حيث لا يمكن للشركات أن تحظى بكل الفائدة من المعرفة التى تنتجها أبحاثها وهكذا لا تستثمر إلا القليل جدا فيها. الاستثمار الحكومى فى أبحاث الطاقة وتطويرها للحفاظ على المناخ ضرورية خاصة بسب الآفاق طويلة المدى والأخطار الكبيرة التى تشمل إعاقة الاستثمارات الخاصة. لكن رغم المعرفة المنتشرة عن أن الابتكار التكنولوجى طريق رئيسية لمعالجة تغير المناخ، فإن الإنفاق على أبحاث الطاقة يتراجع على الأقل خلال العقد الأخير فى معظم البلاد الصناعية. أوصت دراسات كثيرة عبر العقود بزيادة كبيرة فى الإنفاق الفيدرالى على البحث والتطوير لتحسين كفاءة الطاقة، والطاقة المتجددة، والطاقة النووية، واصطياد الكربون وعزله، لكن أول زيادة مهمة فى سنوات كثيرة جاءت فى إجراءات التحفيز فى أوائل ٢٠٠٩.

المعلومات والتعليم والتدابير التطوعية

ثمة فئة أخيرة من أدوات السياسة العامة تشمل التدابير التعليمية المؤسسة على المعلومات والتدابير التطوعية. وتسعى هذه التدابير للتأثير

على الانبعاث بنشر المعرفة بين المواطنين ومصادر الانبعاث عما يتعلق بتغير المناخ وطرق خفض الانبعاث. ربما تسعى للمساعدة فى توجيه الاختيارات المفيدة، أو التشجيع، أو التنسيق، أو شرف جهود التعديل التطوعى بواسطة المصانع: على سبيل المثال، تتطلب السياسات أن تحمل السيارات والمعدات ملصقات تشرح كفاءتها فى استخدام الطاقة لتسمح للمستهلكين بوضع هذا العامل فى اعتبارهم عند اتخاذ قرارات الشراء. ويمكن أيضا لتقديم تنبؤات المناخ تشجيع الناس على تأمل الاحتياج للتكيف مع المناخ المتغير. ويمكن أحيانا للسياسات من هذا النوع أن تنشر حوافز حقيقية. على سبيل المثال، يمكن لطلب تقرير عام عن الانبعاث أن يحفز المصـــانع علـــى تخفيضـــه، كما يمكن للبرامج التطوعية أن تحمل جوائز، أو معرفة عامة، أو صلات بالشراء الحكومى. لكن هناك حدودًا لفاعلية هذه السياسات، خاصة حين يكون عليها أن تقف وحدها. لا يمكن عادة للتدابير التطوعية والمعلوماتية أن تشجع تغيرات تحمل تكاليف كبيرة أو تتطلب استثمارات كبيرة.

تقدم هذه الأنواع الأربعة من السياسة اللبنات لاستراتيجية تعديل كامل. وهناك طرق كثيرة مختلفة لتصميم تفاصيل كل نوع من السياسة، ودمج السياسات فى استراتيجية تعديل قابلة للتطبيق- استراتيجية تحد من الانبعاث بفاعلية، بتكلفة محدودة وأعباء إدارية محدودة، وممكنة وقابلة للاستمرار فى الوضع السياسى المرتبط بها. اتفقت أساسا كل تحليلات استراتيجيات التعديل على أن تدابير وضع سعر للانبعاث، بشكل واسع ومتسق بقدر ما يمكن عبر الاقتصاد، تمثل العنصر الأساسى والمركزى لاستراتيجية التعديل. وبشكل

مماثل، يوجد إجماع حقيقى على أن سعر الانبعاث يجب أن يرتفع بمرور الزمن، بزيادة الضريبة أو تخفيض الذروة المسموح بها. يقدم جدول واضح يعلن عنه مسبقا، جدول للصعوبة المطردة، للمستثمرين بيئة تخطيطية مستقرة ويؤكد لهم أن الاستثمارات فى خفض الانبعاث ستؤتى أكلها. وهناك أيضًا اتفاق واسع على أن الدعم العام لأبحاث الطاقة الآمنة للمناخ وتطويرها ضرورى لإكمال سعر الانبعاث، نظرا لطبيعة المصلحة العامة للبحث.

إن دور النوعين الآخرين من السياسة فى استراتيجية التعديل موضع شك أكبر وأكثر إثارة للخلاف. إذا كانت الحوافز المحمولة خلال الاقتصاد فى أسعار الطاقة كافية لتشجيع الاستجابات الأفضل خلال الاقتصاد، لا تكون هناك إذًا ضرورة لأى تدابير تنظيمية إضافية: يمكن أن تحقق سياسات التعديل المعتمدة على السوق تعديلا أفضل بأدنى تكلفة. لكن إذا كانت حوافز سوق الطاقة ليست فعالة بشكل كاف- على سبيل المثال، إذا كان مجال السياسات المعتمدة على السوق قاصرًا على مجموعة ما من المصادر الصناعية الكبرى للانبعاث، أو إذا كانت حوافز سوق الطاقة غير فعالة فى بعض القطاعات نتيجة تقسيم الحوافز، أو حدود المعلومات، أو الإخفاقات الأخرى للسوق، أو إذا هيمن العمل الحكومى على بعض مناطق الانبعـــاث أو تنظيم آخر بدلا من القرارات المعتمدة على السوق- ثم قد تضمن تدابير تنظيمية إضافية. ثمة مناطق يُفترض بشكل عام أنها قد تحتاج مثل هذه التدابير الإضافية وتشمل وضع قواعد للكفاءة، ومعايير لكفاءة المركبات والمعدات، واستثمارات البنية التحتية. أخيرا، سُخر من السياسات المعتمدة على المعلومات والتدابير منها بوصفها تدابير غير فعالة. يتم تبنيها لأغراض

رمزية حين لا تكون الحكومات جادة بشأن التعديل. فى معظم الحالات الموجودة، لم تمثل هذه السياسات إلا اختلافا ضئيلا. لكنها يمكن أن تمثل مساهمة فى ظروف معينة، مكملة تأثير السياسات الأخرى الأقوى بمساعدة ممثلى القطاع الخاص على معرفة الحوافز الكامنة فى السياسات الأخرى وفهمها والاستجابة لها.

٤-٢-٥ استجابات السياسة الدولية

ركزت مناقشة الاختيارات السياسية حتى الآن على المستوى القومى، لأن فيه السلطة التنظيمية المباشرة الأقوى على مصادر الانبعاث تكمن فيه. لكن لأن انبعاث غازات البيوت الزجاجية فى أى مكان يساهم فى تغير المناخ فى كل مكان، ولأنه لا توجد دولة تسيطر على الانبعاث فى العالم- حتى أكبر مصدرين للانبعاث، الولايات المتحدة والصين، يساهم كل منهما بأقل قليلا من ربع الإجمالى- ينبغى تنسيق جهود التعديل دوليا لتكون فعالة. مثل هذا التنسيق صعب لأنه لا يوجد مسئول فى الساحة الدولية. لا توجد حكومة دولية لها سلطة لتسن السياسة وتنفذها وتفرضها، أو إرغام الحكومات على المشاركة فيها. بدلا من ذلك، تُصنَع السياسة الدولية بمفاوضات بين ممثلى الأمم، غالبا مع حضور مجموعات الصناعة والبيئة والممثلين غير الحكوميين لمحاولة التأثير على النتيجة. هذه العملية أضعف، وأكثر إرهاقا، وأبطأ من صناعة السياسة القومية، لكن هذا هو كل المتاح للاستجابة للمشاكل العالمية مثل تغير المناخ. يسعى المتفاوضون للاتفاق على تعهدات وجهود

قومية لمواجهة تغير المناخ، بما فى ذلك شكلها ومستواها والتوزيع المرتبط بأعباء التكاليف بين الأمم على مدار الزمن- من سيفعل ماذا ومتى؟ تتطلب المعالجة الفعالة للموضوع أن تكون هذه التعهدات القومية قوية بشكل كاف، ومدعومة على نطاق واسع، ومصممة جيدًا للحد من الانبعاث العالمى بأدنى تكلفة؛ وأن توزَّع الأعباء المرتبطة به بطريقة يقبلها كل المشاركين؛ وأن تُنجَز وتفرَض، وتراجَع وتُكيَّف بشكل مناسب عبر الزمن استجابة للخبرة والمعرفة الجديدة والقدرات.

التعهدات القومية

بينما يمكن للسياسات القومية أن تفرض التزامات على مصادر الانبعاث مباشرة، يمكن عادة للسياسات الدولية أن تفرض فقط التزامات على الحكومات القومية، وفقط بموافقتها. مثل السياسات الوطنية، تأخذ التعهدات القومية للسياسات الدولية أشكالا عديدة. يمكن للحكومات أن تتعهد بأداء الأهداف مثل حدود على الانبعاث القومى، بدرجات مختلفة من المرونة فى كيفية تحقيقها. وبشكل بديل، يمكنها أن تتعهد بتشريع سياسات قومية، مثل ضرائب الانبعاث أو الأشكال التنظيمية الأخرى. أو يمكنها أن تخضع لعمليات دولية لتحفز الأفعال القومية وتفعّلها، مثل تسجيل المعلومات وتبادلها، أو تقييم السياسات القومية أو مراجعات تقدمها. هذه المقاربات الثلاث مماثلة للأنواع الثلاثة لسياسة التعديل الوطنى التى ناقشناها من قبل، التنظيم التقليدى، والآليات المعتمدة على السوق، والمقاربات التطوعية

والمؤسسة على المعلومات. للحكومات أيضا اختيار إضافى لخلق مؤسسات دولية يمكن تفويض بعض السلطات على السياسات وتنفيذها.

إلى هذا الحد، كانت أهداف الانبعاث القومى الشكل الأكثر شيوعًا للتعهد الدولى بالتعديل، المستخدم فى كل من الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ (FCCC) واتفاقية كيوتو وأيضا عدة معاهدات بيئية رئيسية أخرى. تتميز الأهداف القومية بالبساطة والوضوح والألفة. بالإضافة إلى ذلك، بتحديد مسئوليات واضحة وترك وسائل التنفيذ للحكومات القومية، تترك الأهداف الحكومات أن تبقى مسئولة عن تعهداتها مع حد أدنى من انتهاك سيادتها.

لكن للأهداف القومية عيوب خطيرة. لأن معظم الانبعاث لا يأتى من الحكومات لكن من المواطنين والأعمال، لا يكون لهدف قومى تأثير ملموس حتى يُنجَز فى سياسة وطنية. لكن تأثيرات السياسات الوطنية موضع شك، وهكذا لا يمكن للحكومات أن تعرف مقدما مدى صعوبة تحقيق هدف انبعاث أو تكلفته، أو حتى إن كان ممكنًا. حتى فى السياسة الوطنية، هناك عقود من الفشل فى الوصول إلى معايير نوعية الهواء فى قانون الهواء النقى فى الولايات المتحدة توضح الهوة المحتملة بين تبنى هدف وتحقيقه. هذا الشك بشأن إمكانية تحقيق الأهداف يسبب توترا حادا فى المفاوضات الدولية حول هدف، بين وضع الأهداف الصعبة وخلق حوافز قوية لتلبيتها. إذا لم تواجه الحكومات سوى النتائج الصغرى لعدم تحقيق هدف، فسوف يكون لديها حافز ضئيل لبذل جهود مضنية لتلبيته. لكن إذا كانت النتائج شديدة فمن المحتمل أن الحكومات ستوافق فقط على الأهداف التى تثق بشدة فى تلبيتها- الأهداف

الضعيفة أو الأهداف التى بها ثغرات واسعة. بالإضافة إلى ذلك، بينما يمكن أن تكون الأهداف الواضحة المُلِحَّة محفزات جيدة، فإنها تفعل هذا بأفضل ما يكون حين تكون الأمم قريبة من الحافة بين تلبيتها وعدم تلبيتها. الحوافز لتجاوز هدف تتوقع تلبيته بالفعل، أو تضيق الفجوة حين تُقصِّر فى تلبيته بوضوح، أضعف بكثير.

يتطلب جعل الأهداف القومية أدوات سياسية أكثر تأثيرًا توسيع مدى النتائج التى تُقدِّم عليها الحوافز، بينما إبقاء العقوبة على تقصير صغيرة جدًا بحيث ترغب الحكومات فى قبول الأهداف الطموحة. وتقدم إحدى مقاربات تحقيق الأهداف لتحقيق هذا السماح بمرونة، بعض فوائد توفير التكاليف وتوسيع الحوافز المتعلقة بآليات السياسة المعتمدة على السوق. وافترِضتْ ثلاثة أنواع من المرونة بالنسبة للتعديل الدولى لغازات البيوت الزجاجية تسمى مرونة "ماذا" و"متى" و"أين". تسمح مرونة "ماذا" للأمم بتوزيع جهودها فى التعديل بين غازات البيوت الزجاجية، بتحديد الأهداف مجتمعة بالنسبة لانبعاث الغازات المتعددة مع تقييم كل واحد بمساهمته فى تغير المناخ. تسمح مرونة "متى" للأمم بتوزيع جهودها عبر الزمن لتلبية هدف تعديل طويل المدى، بتحديد الأهداف باعتبارها مجموعات انبعاث متعدد السنوات وليس من سنة لسنة.

مرونة "أين" هى الشكل الأقوى والأكثر إثارة للخلاف بين أشكال المرونة. تسمح لأمة بتبادل الانبعاث (أو الالتزام بتخفيضها) وهكذا يمكن للأمة ذات التكلفة الهامشية العالية للتعديل أن تخفض أقل مما تعهدت به، وبدلا من ذلك تدفع لأمة ذات تكاليف منخفضة لتخفض بأكثر مما تعهدت به.

ويمكن تحقيق مرونة "أين" بوصفها نظام ذروة وتجارة تباع فيه تصاريح الانبعاث وتشترى دوليا وليس محليا فقط، سواء من خلال صفقات بين الحكومات أو بين مصادر الانبعاث مباشرة فى أمم متعددة. مثل النظم الوطنية للذروة والتجارة، تسمح مرونة "أين" للأمم بتحويل جهود التعديل إلى أماكن تكون فيها أرخص ما يمكن، ومن ثم تخفض التكاليف الإجمالية بما يصل إلى ٨٠-٩٠% فى بعض الحسابات، بالإضافة إلى توفير التكاليف التى تقدمها مرونة "ماذا" ومرونة "متى". ومع ذلك، تضع آليات المرونة الدولية تحديات خطيرة أمام تصميم السياسة وتحقيقها، من قبيل كيفية ربط التزامات حكومات الأمم بالتعديل ومصادر الانبعاث الفردى للحفاظ على حوافز ومسئوليات متسقة، وكيفية ضمان نظام تجارى يعمل عبر سلطات متعددة بمعايير مختلفة بشدة فيما يتعلق بالإنجاز والتنفيذ.

ثمة بديل لتوضيح أهداف الانبعاث القومى وهو التفاوض بشأن السياسات القومية، من قبيل ضرائب الانبعاث أو التدابير التنظيمية الأخرى. يتجنب التفاوض على السياسات بدلا من الأهداف مشكلة الشك فى إمكانية التحقيق، حيث أن الضرائب أو السياسات الأخرى التى يتم التفاوض بشأنها تكمن بوضوح فى سلطة الحكومات على التشريع. كما هو الحال فى السياسة الوطنية، يمكن لمصادر انبعاث خاضعة للضريبة أن تخفض حتى تصبح تكاليفها الهامشية مساوية للضريبة. وبالتالى يمكن لمستوى الضريبة أن يحدد التكلفة الهامشية للتعديل، وتقدم ضريبة متساوية فى الأمم المختلفة تكاليف هامشية متساوية وانتشار تخفيض التكلفة إلى أدنى حد بالنسبة لجهود التعديل.

كما فى السياسة الوطنية، هناك أسباب قوية لتفضيل نظم ضرائب الانبعاث، لكن الزخم السياسى يكمن فى مفاوضات الأهداف القومية ونظم الذروة والتجارة. تواجه ضرائب الانبعاث أيضًا مشاكل عديدة خاصة بالمستوى الدولى. يتطلب تعقد نظم الضرائب القومية وتنوعها مفاوضات مكثفة بشأن التنفيذ للحيلولة دون الثغرات القومية، مثل الإعفاءات أو التعاملات الخاصة الأخرى الممنوحة لصناعات التصدير كثيفة الكربون. إن ضريبة الكربون التى يتم التفاوض بشأنها دوليا يحتمل أكثر أن تثير اعتراضات بشأن السيادة أكثر مما تثيره المفاوضات بشأن أهداف الانبعاث. يمكن أن تساعد النظم الهجين التى تجمع عناصر ضرائب الانبعاث ونظم التصاريح القابلة للتداول تجاريا، كما افترضت بالنسبة للسياسة الوطنية، فى معالجة الشكوك المرتبطة بكل نظام بشكل منفصل ومن ثم تحل صعوبات المفاوضات. يمكن أيضًا للأمم أن تتفاوض بشأن أشكال أخرى من السياسة- على سبيل المثال، أهداف الأداء أو أشكال أخرى من التنظيم تطبق على قطاعات معينة من الانبعاث، وتُختار للمساهمة الكبيرة فى الانبعاث أو لحاجة ملموسة لسياسات متسقة دوليًا لتجنب المشاكل التجارية.

ثمة مقاربة ثالثة مفترضة للتعهدات الدولية بالتعديل وهى للحكومات القومية للتفاوض بشأن الإجراءات والمؤسسات والقواعد، بدلا من التعهد بسياسات معينة أو أهداف معينة. وتم تناول هذه المقاربة فى مفاوضات المناخ فى وقت مبكر من تسعينيات القرن العشرين، تحت شعار "التعهد والمراجعة". فى ظل هذه الفرضية، تتعهد الحكومات بسن سياسات تعديل من اختيارها، وتعلن النتائج التى تتوقعها. وتخضع لمراجعة دولية دورية لتصميم

سياساتها وتنفيذها، والنتائج المتوقعة والمنجزة. سعت هذه المقاربة إلى مواجهة الاعتراض بأن الحكومات قد ترفض التعهدات السياسية الملزمة وتعتبرها انتهاكات لسيادتها. سعت مقاربة التعهد والمراجعة إلى أن تخلق وتستغل حوافز أقل رسمية وصرامة، لكنها لا تزال فعالة، لمؤشرات السياسة القومية، من قبيل الرغبة فى إظهار الكفاءة والمسئولية، وتجنب النقد والإحراج الدوليين. فى مفاوضات اتفاقية كيوتو، اعتبر أن شعار التعهد والمراجعة ليس صارما بما فيه الكفاية وتم التخلى عنه لصالح أهداف الانبعاث القومية الملزمة.

مثل التدابير التطوعية والمؤسسة على المعلومات فى السياسة الوطنية، يمكن أن تكمل هذه التعهدات الإجرائية بشكل فعال الأشكال الأخرى من التعهدات. وربما تكون هناك حاجة لإنجاز التعهدات الأخرى بشكل فعال. لكن كما فى السياسة الوطنية، ربما لا يكون الاعتماد على هذه المقاربة وحدها فعالا، لأنها لا تخلق حوافز قوية وكافية لكل الممثلين الرئيسيين، والحكومات القومية والآخرين، ممن يتطلب الأمر جهودهم.

ثمة مقاربة أخيرة للسياسة الدولية لخلق مؤسسات لها سلطة تشريع سياسة المناخ مباشرة. يفترضها غالبا الأكثر تشككا بشأن كفاءة الحكومات القومية أو عزمها على معالجة تغير المناخ، وتعتمد هذه المقاربة على المثال التاريخى للتشكيل بالتفاوض عن القدرة الحقيقية عبر القومية فى الاتحاد الأوروبى، وعلى شبح البؤس البيئى المتوقع مستقبلا، الذى قد يتطلب قيادة قوية وربما ديكتاتورية. لكن هذه المقاربة، فى أقوى أشكالها، ستواجه عقبات خطيرة. باستبعاد احتمالية **انقلاب** أو ثورة، ستكون الطريقة الوحيدة لترسيخ

مثل هذه السلطة بالمفاوضات بين الحكومات القومية. لكن إذا لم توافق الحكومات على سن سياسات خاصة بتغير المناخ، كيف توافق على التخلى عن سلطتها على الموضوع كاملا لهيئة دولية؟ بالإضافة إلى ذلك، حتى إذا كان من الممكن خلق هذه السلطة الدولية، ليس من الواضح كيف يمكن السيطرة عليها لضمان الكفاءة والمسئولية الديموقراطية. يمكن أن تنمو المؤسسات الدولية الفعالة فيما يتعلق بموضوع معين عبر الزمن من خلال قرارات متتابعة بالتفاوض. وقد نشأ النظام التجارى الدولى الحالى، المنظم حول منظمة التجارة العالمية، بهذه الطريقة. تقدم منظمة التجارة العالمية نموذجا مقبولا لنظام للمناخ يجمع بين الموافقة على الأهداف والسياسات والإجراءات، والمؤسسات الدولية تفوض بسلطات معينة باطراد مع اكتساب الخبرة وثقة الأمم فى عملية النمو. لكن ليس عمليا أن نتأمل هذه المقاربة بوصفها قرارا مفردا على نطاق واسع يمكن أن يحل الورطة الدولية الحالية بشأن المناخ.

توقيت التعهدات وتوزيعها وتتابعها

اختيار شكل التعهدات الدولية ليس كافيا للقيام بفعل دولى. ينبغى أيضا اتخاذ قرار بشأن ما يفعله كل طرف وتوقيت هذا الفعل. يعنى النطاق العالمى لموضوع المناخ أن التعديل الفعال يتطلب، فى النهاية، مساهمة من كل الأمم الرئيسية التى يصدر عنها انبعاث. ولا يمكن لنظام عالمى فعال أن يشيد فى خطوة واحدة، لكن ينبغى أن يبنى على مراحل عبر الزمن. يسود اتفاق على نطاق واسع على أن تقليل الارتباك والتكاليف إلى أقصى حد يتطلب تعهدات

بالبدء بصورة ضعيفة ثم زيادة الصرامة عبر الزمن، مع الملاحظة الشديدة والقدرة على التكيف استجابة للمعرفة الجديدة والظروف المتغيرة.

يثير توزيع الجهود بين الأمم قضايا أكثر إثارة للنزاع، لا يمكن تجنبها. تعلقت أعمق الخلافات بشأن المشاركة بتسلسل تعهدات التعديل بواسطة الأمم الصناعية والنامية: ينبغى على كل الأمم الكبيرة، الصناعية والنامية، أن تقوم بتعهدات التعديل بصورة متزامنة من البداية، أم ينبغى على الدول الصناعية أن تبدأ أولا؟

تتأسس المجادلات بشأن أن تتضمن تعهدات التعديل الدول النامية منذ البداية على اعتبارات ضبط التكلفة والفاعلية. ويبدو الآن أن الكثير من فرص التعديل منخفض التكاليف تكمن فى الدول النامية، خاصة تلك التى تشهد نموًا اقتصاديًا سريعا، وهكذا يكمن توزيع التعديل منخفض التكلفة إلى أقصى حد أساسًا فى الجهود على المدى القريب هناك. وتبين أيضا أنه إذا عملت البلاد الثرية وحدها، فإن ذلك لن يكون فعالا نتيجة "تسرب الانبعاث"، لأن الصناعات كثيفة الانبعاث سوف تنتقل إلى بلاد لا تحد من الانبعاث. هذه الحركة للاستثمار تضعف التعديل على المدى القريب، بسبب انتقال بعض الانبعاث بدلا من خفضه، ويجعل من الصعب بعد ذلك توسيع منطقة التحكم، برفع تكلفة التعديل التالى فى تلك البلاد التى لم تشارك فى البداية وقد انتقلت إليها الاستثمارات ذات الانبعاث المرتفع. وهكذا بدل أن تنطلق أية مجموعة فى المقدمة، ينبغى على كل الأمم أن تتحرك معًا منذ البداية، حتى لو كان ذلك يعنى أن الفعل الذى يقومون به ضعيف جدا، ثم يتحركون تدريجيا إلى تخفيضات أكثر حدة.

من الناحية الأخرى، يمكن للمعاهدات أن توسع المشاركة عبر الزمن، وبسرعة شديدة أحيانًا. ويعتمد الاهتمام بتسرب الانبعاث على فرضية أن انتقال الاستثمار مرتفع الانبعاث إلى الأمم غير المشاركة يحدث أسرع بكثير من توسع المشاركة فى نظام التعديل. وتوحى الخبرة المحدودة المكتسبة حتى الآن مع بناء النظام البيئى الدولى بشىء آخر. تقدم معاهدة مونتريال المثال الأكثر ارتباطا بالموضوع. فى البداية تم التفاوض بضوابط صارمة للكلوروفلوروكربونات (CFC) بالنسبة لمجموعة صغيرة نسبيا من الأمم- وانتقدت فى وقتها على نطاق واسع بسبب خطورة احتمال انتقال الصناعات المعتمدة على CFC إلى بلاد أخرى- انتقلت معاهدة الأوزون بسرعة إلى توسيع المشاركة وزيادة صرامة الضوابط. وقد عملت تفاصيل التدابير الضابطة فى المعاهدة، وخاصة القيود التى فرضتها على التجارة فى المنتجات ذات الصلة مع أطراف غير مشاركة، على منع تدفق الاستثمار إلى الخارج وتشجيع أمم أخرى على الانضمام إلى المعاهدة. ورغم أن التفاصيل ستكون أصعب، من المحتمل أن تُصمَم تعهدات تعديل البيوت الزجاجية أيضا لتقليل الحوافز إلى أقصى حد بالنسبة لتدفق الاستثمار إلى الخارج، وتشجيع التوسع.

تتأسس المجادلات بشأن المقاربة المضادة، أفعال تبدأ بها الدول الصناعية الغنية، على أن تبدأ البلاد النامية التعديل فيما بعد، تتأسس جزئيا على بنود الاتفاقية الإطارية لتغير المناخ ومجادلات بشأن العدالة. اغتنت البلاد الغنية اليوم باستخدام كثيف للوقود الحفرى الرخيص ومن ثم فهى مسئولة عن معظم الزيادة فى غازات البيوت الزجاجية الآن فى الغلاف

الجوى. لكن هذه المجادلات تتأسس أيضًا فى اعتبارات سياسية عملية. إن الورطة الحالية الموجودة منذ زمن طويلة، مع احتياج البلاد الصناعية والنامية إلى تحرك الطرف الآخر أولا، يحتمل فقط أن تتحطم مع أول خطوة جادة تتخذها مجموعة أساسية من المشاركين الذين يرغبون فى الموافقة على اتخاذها. ويحتمل تمامًا أن تكون البلاد الصناعية، لكن تكاليف هذه الخطوة الأولى ومخاطرها لا ينبغى أن تكون شديدة. مع تعهدات على مراحل تزيد فيها الصرامة السياسية تدريجيا. تبدأ تكاليف هذه الخطوة الأولى صغيرة بالضرورة، جالبة أعباء تنافسية ومخاطر تسريب محدودة جدا.

وبالنسبة لمدى أية خطوة جادة- متضمنة برنامجًا يبدأ صغيرًا ويتضمن تعهدات بزيادة الصرامة بمرور الزمن- يحتمل أن تساعد على كسر هذه الورطة، وربما ترغب دول أخرى فى القيام بهذه التعهدات بعد ذلك بقليل، وخاصة إذا كان من الممكن أن تكون تعهدات الدول النامية مشروطة بعلامات على جهود جادة من البلاد الصناعية. ربما توجد هنا مساحة واسعة للتفاوض، خاصة إذا اعترفت الأطراف بأن مكان استثمارات خفض الانبعاث مسألة منفصلة عمن يدفع مقابلها. بمصطلحات عملية، يحتمل أن تكون هناك موافقات معقولة للجمع بين التعديل والمفاوضات بشأن التكنولوجيا والتمويل والقضايا الأخرى التى تسمح بتبادل المنافع بحيث يكسب كل المشاركين. بالطبع، أية مقاربة تبدأ حتى بتكاليف هامشية متفاوتة فى مناطق مختلفة سوف تكون غير كافية، لكن إذا كانت الطريقة الوحيدة لإنجاز عمل فعال تحمل فترة شبه مثالية، وهذا مفضل عن التأجيل المستمر الذى يعنى عدم القيام بشىء. الدبلوماسية البيئية الدولية منطقة يمكن أن يكون التام فيها، وفى

مناظرات كثيرة كما حدث حتى الآن، عدو الخير. بدلا من السعى إلى المثالية فى الخطوات المبكرة، ينبغى أن نسترشد بمبادئ بسيطة تتعلق بالمنفعة البرجماتية: ينبغى أن تقوم الأفعال المبكرة بمساهمة فعالة فى حل المشكلة، وينبغى أن تقوم بتوسع تال فى الجهد بشكل أسهل، وينبغى ألا تنحصر فى شكل سياسى مقيد أو متدنٍ.

الإنجاز والمراجعة

بصرف النظر عن شكل التعهدات التى تتبناها الحكومات القومية، وعن نوعها، ينبغى للمفاوضات أن تتناول الكيفية التى تتبعها للوفاء بالتعهدات التى قطعتها على نفسها. يؤيد معظم علماء البيئة "معاهدات ذات أنياب"، بمعنى أن تساند التعهدات عقوبات فى حالة عدم الالتزام، مثل القيود التجارية أو الغرامات أو سحب المساعدات أو الاستثمارات. لكن من الصعب استخدام هذه العقوبات بشكل فعال. من الصعب التفاوض بشأنها، ومن الصعب الاتفاق على استخدامها فى حالة معينة حتى لو تم الاتفاق مبدئيا. وغالبًا ما تكون عشوائية أو غير شرعية فى طريقة تطبيقها، وغالبا ما تكون غير فعالة فى تغيير سلوك الدولة المستهدفة حتى حين لو تم تطبيقها. على ضوء هذه المشاكل، تجنبت عادة الاتفاقات الدولية بشأن البيئة العقوبات، معتمدة بدلا من ذلك على وسائل ناعمة للإقناع مثل تقديم تقارير عن العمليات ومراجعتها، وهى إجراءات تركز على حل المشاكل بود أكثر مما تركز على تحديد غير الملتزم وعقابه، أو وسائل أخرى لممارسة ضغوط

خلقية على صانعى السياسة القومية. بالنسبة لمشكلة محددة تتعلق بأطراف يرغبون فى تلبية تعهداتهم لكنهم غير قادرين على ذلك، يمكن دعم هذه المقاربات بأشكال متنوعة من المساعدات المالية و التقنية.

تؤثر كيفية تحقيق التعهدات بشكل فعال على التعهدات التى ترغب الحكومات فى الوفاء بها، لأن ما ترغب فيه كل حكومة يعتمد على ثقتها فيما سوف يفى به الآخرون من تعهداتهم. وبالتالى، تولِّد إجراءات متابعة الإنجاز نوعين من الحوافز بالنسبة للحكومات للوفاء بتعهداتها: ليس فقط خطر التورط فى متاعب إذا لم تفِ بتعهداتها، لكن أيضًا زيادة الثقة فى أن يفى الآخرون بتعهداتهم. يمكن بالتالى للإجراءات التنفيذية الفعالة أن تدعم رغبة الحكومات فى الموافقة على التعهدات، لكن فقط إذا كانت تتمتع بدعم دولى قوى مبدئيا. لا يمكن لقليل من النشطين استخدام إجراءات تنفيذية قوية تجعل بقية العالم، ناهيك عن القوى الكبرى بشكل خاص، تساهم فى المقام الأول إذا لم يكونوا مهتمين بالقيام بذلك.

وبالتالى، بينما بدأت المفاوضات لتطوير إجراءات لمراجعة الالتزام بنظام المناخ، من غير المحتمل أن تؤدى إلى مساهمة كبيرة حتى تتبنى كتلة مؤثرة من الأمم الرئيسية شكلا من التعهدات الأساسية وتلتزم بها بجدية واضحة. بمجرد الوصول إلى ذلك الهدف، يمكن تطوير رغبة متزايدة لقبول تدابير إنجاز أقوى بالتوازى مع تعهدات أقوى، لأنه كلما زاد اعتماد كل أمة للوفاء بتعهداتها، عظمت اهتماماتها ببناء نظام أقوى من الإجراءات والمؤسسات للمتابعة و التنفيذ، حتى لو كان هذا النظام يُطبَّق عليها أيضا.

باختصار، تعكس متطلبات السياسة الدولية بشأن المناخ ومشاكلها، فى كثير من النواحى، السياسة الوطنية. يتطلب تخفيض الانبعاث حوافز، وينبغى بشكل مثالى أن تعمل بمثابة أسعار موحدة على الانبعاث. لخلق هذه الحوافز، تبدو ضرائب الكربون مفضلة أساسا لكن نظم الذروة والتجارة لها زخم سياسى. يتطلب أى تعهد سياسى يتم اختياره تنسيقا واتساقا وشفافية. وينبغى أن تكون الخطوات الأولى معتدلة، لكن مع مسار تدريجى يعلن عنه مسبقا لزيادة الصرامة بمرور الزمن لتشجيع الاستثمار والتطور التكنولوجى المطلوبين.

لكن وضع سياسة دولية وتحقيقها وتنفيذها أصعب من السياسة الوطنية، لأن البناء المؤسسى وقدرته على تنسيق الفعل أضعف. وبالتالى، يتطلب وضع سياسة دولية بشأن المناخ تسويات أكثر مما تتطلبه السياسة الوطنية للوفاء بالقيود السياسية والإدارية. الأولى والأكثر أهمية، يتطلب كسر الورطة الحالية للمتطلبات المتبادلة بأن يأخذ الآخرون الخطوة الأولى، يدعمها الانتهازيون على كل جانب ممن لا يرغبون فى كسر الورطة، قيادة. ولا تعنى القيادة فى هذا السياق مجرد فرضيات ومجادلات أفضل، بل إرادة لتوضيح تعهد خطير لحل المشكلة بقبول التكاليف والمخاطر، حتى لو كان التوزيع الناتج غير المتساوى للجهود يعنى أن الخطوات الأولى ليست فعالة على مستوى التكلفة بشكل مثالى. بالإضافة إلى ذلك، لا يمكن لصناعة السياسة الدولية أن تتجنب المناقشة الصريحة لتوزيع الأعباء تماما. وبالإضافة إلى ذلك، تطرح صناعة السياسة الدولية مشاكل خطيرة فى الإنجاز، تتعلق بالإدارة وبناء الثقة. سوف تتطلب مواجهة هذه التحديات ابتكارا فى طرق تنسيق نظم السياسة القومية، وفحصها وربطها، النظم التى

تتخذ مقاربات مختلفة، متضمنة أخلاطا متنوعة من الضرائب، ونظم الذروة والتجارة، والإجراءات التنظيمية والنفقات. وتتطلب أيضًا رغبة فى التسوية، تسترشد بحكم عملى جيد.

هناك طرق كثيرة يمكن بها أن تفشل السياسة الدولية فى الوصول بشكل مثالى إلى أعلى فاعلية وخفض التكاليف إلى أقصى حد. وبعض هذه الطرق أن فهم السياسة خطأً ربما يوجهها بشكل خطأ جدا، فتأتى مكلفة وغير فعالة، وتمثل نكسات تجعل حل مشكلة المناخ أصعب. لكن مقاربات أخرى تفشل، حتى بصورة أكبر، فى الوصول إلى الشكل المثالى ربما تمثل خطوات أولى باتجاه مقاربة فعالة أفضل بكثير من عدم القيام بشىء. المقاربات التى تشمل فترة طويلة من تدابير أولية تختلف بقوة فى صرامتها وجديتها، ربما تكون من هذا النوع- بعيدة عن المثالية، لكنها خطوة ممكنة فى الاتجاه الصحيح، أفضل من الورطة المستمرة وعدم القيام بشىء.

٤-٣ وضعها معًا: التوازن بين منافع التعديل والتكيف وتكاليفهما

حتى هذه النقطة، لخصنا المعرفة الحالية والشك بشأن تأثيرات تغير المناخ، وبشأن الاستجابات المحتملة للتكيف والتعديل، وبشأن الطرق البديلة لتصميم سياسات لتشجيعها. لكن فى ضوء هذه المعرفة كلها، كيف ينبغى لنا أن نقرر ما نفعل؟ تتمثل المقاربة، التى تلقى دعمًا على أوسع نطاق لتقييم قرارات السياسة العامة المعقدة، فى فحص فوائدها الاجتماعية الكلية، مقارنة منافع كل سياق مفترض للفعل بتكاليفه. والسياسات المفضلة هى التى تحقق

فى المحصلة منافع اجتماعية- المنافع ناقص التكاليف- بأكبر قدر ممكن. حين يمكن لسياسة أن تختلف باستمرار على مجال ما وعلى مستوى وضع القرار- على سبيل المثال، مقدار ما ينفق على الرعاية الصحية والدفاع القومى، أو مدى الحد من انبعاث ملوّث- يوجد المستوى الذى يضخم محصلة المنافع إلى أقصى حد بالنظر إلى التكاليف الهامشية والمنافع. مع السيطرة على الملوّث بشكل أكثر تشدُدًا، تزيد عادة التكاليف الهامشية وتنخفض المنافع الهامشية: يؤدى تخفيض الطن الأول إلى كسب منفعة كبيرة مقابل تكلفة صغيرة، ويجلب الثانى منفعة أقل قليلا مقابل تكلفة أكثر قليلا، وهكذا. تزيد المنافع الاجتماعية إلى أقصى حد بالسيطرة إلى آخر وحدة تحقق منفعة أكبر من تكلفتها، أى، إلى النقطة التى تكون عندها التكلفة الهامشية والمنفعة الهامشية للسيطرة متساويتين.

لأن معالجة تغير المناخ تتطلب اختيار مستويات نوعين من الجهد، التعديل والتكيف، فإن زيادة المنافع الاجتماعية إلى أقصى حد فى هذه الحالة أكثر تعقيدًا بقليل، يتطلب جعل الكميات الهامشية الثلاث متساوية. ينبغى تخفيض الانبعاث حتى تكون التكلفة الهامشية للتعديل- تكلفة تخفيض طن أكثر- مساوية للتدمير الهامشى لتغير المناخ من انبعاث آخر طن. لكن تدمير تغير المناخ يمكن خفضه أيضًا بتدابير التكيف، التى ينبغى أن تُتَّخَذ إلى النقطة التى تكون فيها التكلفة الهامشية لآخر إضافة لجهد التكيف مساوية أيضًا للتدمير الهامشى فى المناخ، الذى تجنبه ذلك الجهد. وهكذا تعتبر الاستجابة المثالية التكاليف الهامشية للتعديل والتكيف، والتدمير الهامشى لما تبقى من تغير المناخ، متساوية كلها.

هذه نظرية رائعة. لكن محاولة تحديد سياسة مثالية بهذه الطريقة يتطلب تقديرات كمية لتكاليف التعديل، وتكاليف تدابير التكيف، والدمار من تغير المناخ على مجال واسع من المستويات الممكنة للتعديل والتكيف. نعرف بعض الأمور عن هذه الكميات كلها، ولدينا بصيرة ببعض القرارات التى ربما تتأسس عليها، لكنها كلها تخضع أساسًا للشك والخلاف.

٤-٣-١ تقديرات تكلفة التعديل

من بين كل الأنواع الثلاثة للتكلفة، أكثر المعلومات متاحة عن التعديل. تمت عشرات من تحليلات تكاليف التعديل، بالنسبة للولايات المتحدة ومناطق أخرى وبالنسبة للعالم كله. تستخدم هذه التحليلات نماذج اقتصادية تحدد فرضيات خط الأساس للنمو السكانى والاقتصادى فى المستقبل، وموارد الطاقة والأسواق، وميول التكنولوجيا. وتقارن النماذج هذه الأشكال من مستقبل خط الأساس بأشكال بديلة للمستقبل يتم فيها الحد من الانبعاث. بالنسبة لأى حد معين من الانبعاث، تحسب النماذج التكلفة الإجمالية والهامشية لتحقيق الحد، مقارنة بخط الأساس المفترض. وترتبط تكلفة التعديل تحليل حدود الانبعاث والضرائب؛ إذا كان الحد يحمل تكلفة معينة لكل طن، يمكن إذاً للحد أن يتحقق مبدئيا بضريبة لكل طن مساوية لتلك التكلفة الهامشية.

فى كل هذه التحاليل لتكاليف التعديل، تبدأ التكاليف منخفضة لتخفيضات صغيرة فى الانبعاث. فى المدى القريب (٢٠٣٠)، قدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) أن انبعاث العالم يمكن تخفيضه ١٠-

٢٠% تقريبا تحت مستويات خط الأساس بتكاليف تقل تقريبا عن ٧٥ دولار لكل طن كربون[١]. والتخفيضات تزيد، تزيد التكلفة أيضا: يمكن تحقيق تخفيض ٢٠-٤٠% بأقل من ١٨٠ دولار تقريبا لطن الكربون. وقد وجدت تحليلات تقنية أخرى تفصيلية فرصا أكبر للتخفيض، ٣٠-٤٥% تحت خط الأساس بتكاليف أقل من ١٨٠ دولار تقريبا لطن الكربون فى الولايات المتحدة فى دراسة، ٧٠% تحت خط الأساس بتكلفة أقل من ٢٨٠ دولار تقريبا لطن الكربون على نطاق العالم فى دراسة أخرى[٢]. فى وضع هذه التقديرات للتكاليف، تجد عادة النماذج المؤسسة على الهندسة التى تجمع تكاليف التكنولوجيات ومساهمتها من القاع إلى أعلى فرصًا أكثر وأرخص للتخفيض مما فى من القمة إلى أسفل، والنماذج المؤسسة على الاقتصاد والتى تستنتج اختيارات التخفيض من الاحتمالات البديلة المقدرة فى الاقتصاد الكلى، لكن هذا الاختلاف صار أصغر مع تحسن كل نموذج.

---

(١) لنتذكر أن الانبعاث. وثمن تخفيضه. يمكن التعبير عنه بأطنان الكربون أو أطنان ثانى أكسيد الكربون. ويعبر عنه هذا الكتاب بأطنان الكربون. وتستخدم التقديرات الأحدث الصادرة عن *IPCC* أطنان ثانى أكسيد الكربون. وتختلف الطريقتان بعامل ٤٤/١٢. وهكذا فإن هذه التكلفة الهامشية بمقدار ٧٥ دولار لطن الكربون تساوى تقريبا ٢٠ دولار لكل طن من CO_2، كما يذكر فى *IPCC (2007c)* فى ص ٧٧.

(٢) يتضمن تحويل أسعار الانبعاث إلى سعر المستهلك بعض التقريب، لأنه يعتمد على كيفية إنتاج الطاقة النهائية من الطاقة الأولية فى الاقتصاد. ثمة تقريب معقول وهو أن ١٠٠ دولار لطن الكربون يرفع سعر التجزئة للجازولين ٣٠ سنتا للجالون الأمريكى، والكهرباء المولدة بالغاز ١,٥ سنت تقريبا لكل كيلووات ساعة. والكهرباء المولدة بالفحم ٣ سنتات تقريبا لكل كيلووات ساعة (مقابل متوسط أسعار حالية للكهرباء حوالى ١٠ سنتات لكل كيلووات ساعة فى الولايات المتحدة الأمريكية).

فيما يتعلق بالتخفيضات الكبرى فى الانبعاث، تحدث ثلاثة أشياء: تزيد التكاليف؛ وتكبر اختلافات تقدير التكاليف بين النماذج (مقياس تقريبى لكنه غير دقيق للشك فى التقدير)؛ وتصبح مقارنة ذات معنى لتقدير التكاليف بين النماذج أكثر صعوبة لأن الفرضيات التى يضعونها على خصائص الاقتصاد، وخط الأساس، واستراتيجية التعديل تختلف على أبعاد كثيرة جدًا. خاضعة لتلك الشروط، تلخص IPCC الدراسات السابقة للتكلفة الكلية للمستويات المختلفة لاستقرار المناخ. وقد وجدت أن مسارات الانبعاث التى تسعى للاستقرار حول ٥٣٥-٥٩٠ جزء فى المليون من مكافئ CO_2 تتراوح تكلفتها الإجمالية من ٠,٢ إلى ٢,٥% من الناتج الاقتصادى العالمى فى ٢٠٣٠، ومن المنافع الصغيرة إلى خسارة ٤% فى ٢٠٥٠. الأهداف الأكثر صرامة بشأن الاستقرار، من ٤٤٥-٥٣٥ جزء فى المليون من مكافئ CO_2، تصل تكلفتها إلى ٣% فى ٢٠٣٠ وإلى ٥% فى ٢٠٥٠.

تناول التحليل الأحدث لسيناريوهات الاستقرار وقد أُجرى لصالح برنامج علم تغير المناخ فى الولايات المتحدة باستخدام ثلاثة نماذج للضوابط المشتركة لعدد من غازات البيوت الزجاجية، بما فى ذلك الانبعاث المرتبط باستخدام الأرض. فى هذا التحليل، تم تناول أكثر الأهداف صرامة- قوة ٣,٤ وات/م^{٢}، تناظر حوالى ٥٢٠ جزء فى المليون من إجمالى غازات البيوت الزجاجية معبر عنها بمكافئ CO_2 أو ٤٥٠ جزء فى المليون من CO_2 وحده- تكافئ تكلفتها ١-٢% من الناتج المحلى الإجمالى فى نموذجين، ومن ٦% إلى ١٣% فى النموذج الثالث. ثانى أعلى المستويات- قوة ٤,٧ وات/م^{٢}، تكافئ ٦٦٠ جزء فى المليون من إجمالى مكافئ CO_2 أو ٥٥٠

جزء فى المليون من CO_2 وحده- تكلفتها ٠,٣-٠,٨% خسارة فى الناتج المحلى الإجمالى فى نموذجين، وبنسبة ٢-٧% فى الثالث. وكانت التكاليف الهامشية المرتبطة بهذه المسارات، فى أكثر المسارات صرامة، ١٧٠-١٩٠ دولار تقريبا (فى نموذجين) أو ٨٥٠ دولار (فى نموذج) فى ٢٠٥٠؛ وفى ثانى أكثر المسارات صرامة، ١٣-٢٦ دولار أو ١١٢ دولار فى ٢٠٣٠، ٣٦-٧٠ دولار أو ٢٤٥ دولار فى ٢٠٥٠.

يقدم الاختلاف الواسع بين هذه التقديرات صورة معقولة للشكوك الفعلية، لكنه لا يعنى أننا لا نعرف شيئاً عن تكاليف التعديل. من المفيد خاصة أن ننظر إلى سبب الاختلاف فى التكاليف المتوقعة بين هذه النماذج. فى دراسة برنامج علم تغير المناخ، نشأت التكاليف المرتفعة فى نموذج جزئيا من نمو أعلى لخط الأساس فى الناتج المحلى الإجمالى والانبعاث. لكن المصدر الأكبر للاختلاف يكمن فى فرضيات مختلفة لمدى السهولة التى يمكن أن يستبدل بها الاقتصاد الطاقة المؤسسة على الوقود الحفرى، من خلال استبدال العوامل الأخرى (رأس المال والعمال) ومن خلال ابتكارات تخفض تكلفة مصادر الطاقة الآمنة للمناخ. يفترض نموذج التكلفة المرتفعة اقتصاداً أكثر جموداً وأقل قابلية للتبديل، مع ابتكارات أقل استجابة للحوافز التى تولِّدها الأسعار وسياسات التعديل. وارتفعت أكثر تكاليف هذا النموذج بالحدود الصارمة غير الاقتصادية التى فرضها على التوسع فى الطاقة النووية. وهذه الأهمية الأساسية للابتكارات التقنية فى تحديد تكاليف التعديل ذات معنى. يمكن استنتاجها حتى فى سيناريوهات الانبعاث الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، فى الاختلاف الواسع فى

الانبعاث بين الاختلافات التكنولوجية فى السيناريو A1، حتى مع الفرضيات نفسها بشأن النمو السكانى والاقتصادى. طرح تحليل أحدث السؤال بدقة أكبر بتقدير المنفعة النقدية للاكتشاف المبكر لتكنولوجيا طاقة رخيصة خالية من الكربون. وكانت القيمة التى وجدها أكثر من ثلاثة أرباع التدمير الإجمالى لخط الأساس من تغير المناخ، وتبلغ القيمة الحالية حوالى ١٧ تريليون دولار.

ما مدى سهولة استجابة الابتكارات التكنولوجية للحوافز من سياسة التعديل؟ يوحى الدليل من القضايا البيئية الأخرى بأن الابتكار سريع الاستجابة تمامًا، من حيث أن التقديرات المرتفعة لتكاليف التحسن البيئى تميل إلى أن تكون أعلى من التكاليف الحقيقية. وهذا الدليل يفضل تكاليف تعديل أقرب إلى تقديرات النموذجين منخفضى التكلفة من تقدير النموذج مرتفع التكلفة، لكنه يبقى موضع شك حقيقى. ربما لا يكون الدليل من الخبرة التاريخية كافيا لتنقيح هذه التقديرات للتكاليف بشكل أكبر. وتوحى أيضًا هذه الشكوك، من الناحية الأخرى، بأن معدل الابتكار، وسرعة استجابته للسياسة، ربما يخضعان للتأثر بالسياسة. إن السياسات كما ناقشناها من قبل، التى تضع سعرا على الانبعاث لتعطى ممثلى القطاع الخاص حوافز للمتاجرة فى الابتكارات التى تخفض الانبعاث، يمكن أن تقدم المعرفة بشأن سرعة استجابة الابتكارات وتسريع استجابتها. بشكل مماثل، زيادة الاستثمار العام فى البحث وتطوير تكنولوجيات آمنة للمناخ ودعم التقييم التكنولوجى يمكن أن يساعد فى خفض عوائق المتاجرة فى الابتكارات التى تخفض الانبعاث وتخفيض التكاليف.

لكن بينما قد تكون التقديرات الحالية للتكاليف مرتفعة جدا إذا كانت ابتكارات الطاقة الآمنة للمناخ أكثر استجابة مما تفترض هذه التقديرات، فقد تكون أيضًا منخفضة جدا لأن كل هذه التقديرات تفترض سياسة مثالية- تكاليف هامشية للانبعاث متساوية تُفرض فى كل أرجاء العالم، مع إنجاز تام وبلا تكلفة، وأى ريع ترفعه السياسات يعاد توزيعه على الاقتصاد بشكل مثالى. والسياسات التى تبعد كثيرا عن هذه المثالية- بالحد من مرونة الكيفية التى تخفض بها الأمم والقطاع الخاص انبعاثها، بالسماح بفروق كبيرة على المدى الطويل فى التكاليف الهامشية، أو باستخدام الريع بطرق لا تتسم بالكفاءة- يمكن أن ترفع التكاليف بحدة. بهذا المعنى، لا تعكس هذه الاختلافات فى تقديرات التكاليف الشك بقدر كبير جدًا، لكنها بدلا من ذلك توجه كيفية تصميم سياسات تحقق التعديل العالمى بتكلفة منخفضة.

٤-٣-٢ تقديرات تكاليف التكيف وتأثيرات تغير المناخ

بالإضافة إلى تكاليف التعديل، يتطلب أيضًا تبنى مقاربة التكاليف والمنفعة فى سياسة المناخ تقديرات لتكاليف تأثيرات المناخ وتدابير التكيف لخفضها. هناك صعوبة أكبر بكثير فى التقدير من صعوبة تقدير تكاليف التعديل. سعت دراسات كثيرة لوصف التأثيرات فقط، ولم تقيمها أو تجمعها. وركزت دراسات أكثر على تأثيرات معينة من السهل تقييمها، ربما لأنها تهتم بالسلع والخدمات التى يقدم لها السوق وكلاء مناسبين للقيمة الاجتماعية الكلية (على سبيل المثال، المنتجات الزراعية، أو الأرض الزراعية، أو الممتلكات

الساحلية)، وربما لتوفر البيانات والنماذج الجيدة. على سبيل المثال، توجد الآن دراسات كثيرة رفيعة المستوى عن تأثيرات المناخ على الزراعة وتأثيرات ارتفاع مستوى البحر، رغم اختلاف القيم المتوقعة بالدولار بقوة من دراسة إلى أخرى حتى فى تلك المناطق.

وتتطلب دراساتٌ إرشادية عن المنفعة والتكلفة، لتوجيه قرارات سياسة المناخ، تقييماتٍ شاملةً للتأثيرات كلها- ما يسهل تقديره وما يصعب تقديره، ما لها أسواق وما ليس لها أسواق- والتفاعل بينها أيضًا. من أمثلة التقييم الصعب، قد يتمثل التأثير غير السوقى فى انبثاق لذة مواطنى نيو إنجلند من مناخهم والمشاهد الطبيعية التى تعتمد عليه، من قبيل الأيام الشتوية الجليدية الساطعة، وتساقط أوراق الشجر زاخرة الألوان، والغابات التى تدعم إنتاج شراب القيقب. من الصعب تقدير مثل هذه التأثيرات لأسباب كثيرة، تتضمن التقديرات المختلفة لقيمة أوجه معينة من المناخ بين الأفراد والجماعات، واحتمال تحول ما يفضله الناس عبر الزمن. ربما يتكيف الناس مع تغير المناخ وهو يحدث، ويتعلمون التعايش مع بيئتهم ومناخهم- أو حتى حبهما- حتى لو كان ذلك يعنى أن نيو إنجلند دون جليد أو أشجار قيقب، طالما كانت تغيرات المناخ بطيئة بما يكفى لحدوث هذه التغيرات فيما يفضله الناس.

اتخذت الدراسات مقاربات متنوعة لتقييم التأثيرات الشاملة، وليس منها ما هو مقنع تماما. قدرت بعض الدراسات قيمة التأثيرات غير السوقية بسؤال الناس عن مقدار ما قد يرغبون فى دفعه لتجنبها، لكن هذه الطريقة مثيرة للخلاف. ويتجنب بعضها تحديد القيمة بالدولار بالنسبة لكل التأثيرات بإحصاء بضعة تدابير منفصلة واضحة الأهمية. على سبيل المثال، يحصى

اقتراح خمسة أبعاد للتأثيرات- تأثيرات السوق، والوفيات، وخسارة التنوع البيولوجى، وتوزيع الدخل، وتغيرات نوعية الحياة- لكن هذه المقاربة ربما تكون أكثر تعقيدًا من أن تدعم تقديرات المنفعة والتكلفة، وأبسط من أن تعكس كل الطرق المهمة التى يقدر بها الناس المناخ، وخاصة فى تأثيراته على نوعية الحياة. واعتمدت الدراسات التى قدمت تقديرات كمية كلية لتأثيرات تغير المناخ بكثافة على الأحكام الإرشادية، التى تستنبط عادة بتصنيف القطاعات الاقتصادية والمجالات الأخرى المعرضة للتأثير بحساسية مفترضة للمناخ، موجهة تقديرات أحكام التدمير فى كل مجال، وإضافتها إلى بعضها. بالإضافة إلى ذلك، جمعت كلها تكاليف التكيف والأضرار فى تقدير كلى واحد، يفترض ضمنيًّا تكيفًا مثاليًّا لأى مستوى من تغير المناخ.

كانت النتائج المعتادة من هذه الدراسات أن متوسط ارتفاع حرارة العالم ٢-٣,٥ درجة مئوية فى هذا القرن يجلب تأثيرات تكافئ فقدان ١-٣% من الناتج الاقتصادى العالمى، وهناك اختلاف واسع بين الدراسات. رغم وضوح أن الأضرار تعتمد على معدل التغير كما تعتمد على مستواه، لا يوجد تقييم شامل للتأثيرات فصَلها. قدَّرتْ دراسات أخرى خسائر إجمالية مماثلة- ١-٢% من الناتج الاقتصادى- بالقيمة الحالية للخسائر المستقبلية المخصومة فى فترة أطول من هذا القرن، جامعة الأضرار الأصغر على المدى القريب والأضرار الأكبر طويلة المدى. ووجدت تحليلات قليلة أضرارًا أكبر بكثير نتيجة عدم التحكم فى المناخ فى المستقبل، من قبيل ٥-٢٠% من الناتج الاقتصادى فى تقرير فى المملكة المتحدة معلن على نطاق واسع باسم "مراجعة سترن". يشغل أيضًا تقدير التكلفة الاجتماعية الهامشية

للانبعاث- مدى الضرر الذى يسببه انبعاث طن إضافى اليوم- مجالا واسعًا. تجد دراسات كثيرة هذه القيمة بين ٣٥ دولارا و ١٠٠-١٥٠ دولار لطن الكربون، بينما تجد دراسات قليلة هذه القيم أكثر من ١٠٠٠ دولار ودراسات قليلة تجدها منخفضة إلى ٣-٥ دولارات. إن توزيع التقديرات منحرف بقوة، بذيل طويل ورفيع للتقديرات بالغة الارتفاع.

يأتى هذا المجال الواسع من عوامل كثيرة، تتضمن فرضيات خاصة كثيرة بشأن حساسية قطاعات معينة لتغير المناخ، ومعالجة الشك، وكيفية جمع التقديرات النقدية للأضرار عبر مناطق العالم ذات الدخول المتباينة للغاية. لكن المصدر الأكبر للاختلاف الواسع فى هذه التقديرات هو معدل الخصم، الكمية التى تخفض بها التكاليف أو المنافع فى المستقبل نسبة إلى التكاليف أو المنافع الموجودة اليوم مجتمعة فى مقياس واحد. تكبر تأثيرات تغير المناخ بمرور الزمن فى سيناريوهات عدم السيطرة، وهكذا تظهر الأضرار الأكبر فى وقت متأخر من هذا القرن أو بعده. مقدَّرةً باستخدام مقاربةٍ تقليدية من قبيل معدل خصم سنوى ثابت بنسبة ٥-١٠%، تصبح القيمة الحالية لهذه التأثيرات غير مهمة. حين توضع تأثيرات المناخ فى مجموعات طبقًا لمعدل الخصم الذى تستخدمه، فإن تلك التى تستخدم أدنى المعدلات، حوالى ١% سنويا أو أقل، تجد أعلى أضرار تغير المناخ، فى كل من التكاليف الهامشية والإجمالية. لكن مع المعدلات المنخفضة، مثل معدل ١,٤% المستخدم فى مراجعة سترن، تأتى المشاركة الأكبر للأضرار المحسوبة نتيجة التأثيرات المتوقعة مستقبلا بعد أكثر من ٢٠٠ سنة. لمثل هذه المعدلات المنخفضة جدًا للخصم تأثير على صناعة قرارات اليوم بالغة

الحساسية للفرضيات البديلة بشأن نتائج هذه القرارات التى تحدث فى المستقبل بعد قرون. فى المقابل، تستخدم غالبًا الدراسات التى تستخدم معدلات متوسطة، من قبيل ٣-٥% للاستثمارات العامة طويلة المدى والقرارات السياسية، وتحسب التكاليف الاجتماعية الهامشية للانبعاث بمقدار ٣٥-١٠٠ دولار تقريبا لكل طن مكافئ كربون، وأضرار من تغير المناخ غير الخاضع للسيطرة ١-٣% تقريبًا من الناتج الاقتصادى.

هناك إجابة واحدة صحيحة بالنسبة لاختيار معدل الخصم فى تقديرات تغير المناخ. يأتى إطار تقييم التأثيرات عبر الزمن فى اقتصاد متنامٍ من الاقتصادى فرانك رمزى[١] فى أوائل القرن العشرين، الذى حدد أن نسبة الخصم لا تعتمد فقط على الاختيار المعيارى لكيفية التوازن بين رفاهية الحاضر والمستقبل- مقايضة مصالح الناس فقط بناء على متى يعيشون- ولكن أيضا على السرعة التى ترتفع بها الدخول التى تمنح منافع للناس الأغنى مقابل الأفقر، مما يعطى قيمة أكبر لرفاهية الناس فى الحاضر- ليس لأنهم حاضرون، ولكن لأنهم أفقر. إن معدل الخصم المكون من هذين العاملين هو المعدل "المناسب" للاستخدام فى تحليلات قضايا طويلة المدى مثل تغير المناخ. فى ظل فرضيات معينة، يساوى هذا المعدل للخصم معدل العائد من الاستثمار، ويمكن ملاحظته على عكس العنصرين الآخرين المسئولين عن الخصم.

---

(١) فرانك رمزى *Frank Ramsey* (١٩٠٣-١٩٣٠): عالم رياضيات بريطانى له مساهمات سيمة فى الفلسفة والاقتصاد (المترجم).

بينما لا توجد قيمة صحيحة لمعدل الخصم، هناك خطآن شائعان فى تقديره، خطأ يعطى معدلا بالغ الارتفاع والآخر معدلا بالغ الانخفاض. يعالج الخطأ الأول معدل الخصم باعتباره مماثلا للاختيار المعيارى للمقايضة بين رفاهية الناس فى الحاضر والمستقبل. وحيث يرى كثيرون أنه من غير المقبول التقليل من شأن رفاهية الناس لمجرد أنهم يعيشون فى المستقبل، فإنه يُفترَض غالبا أن هذا العامل المعيـــارى ينبغـــى أن يكـــون صفرا. لكن هذا لا يعنى أن معدل الخصم المستخدم فى توجيه السياسة ينبغى أن يكون صفرا، نتيجة النمو الاقتصادى. إذا جعل النموُ الاقتصادى الناس فى المستقبل أغنى، فإن هذا ربما يقدم أساسًا حقيقيًا لتقييم التكاليف النقدية أو المنافع لهم بشكل أقل، دولار لدولار، من التكاليف أو المنافع التى يدفعها الناس اليوم أو يحصلون عليها. ويفترض الخطأ الثانى أن العائد الذى نلاحظه من الاستثمار- أحيانا يصل إلى ١٠%- هو معدل الخصم المناسب، متجاهلا الفرضيات بالغة الصرامة الضرورية لكى يكونا متساويين.

٤-٣-٣ التقييم المتكامل للتكيف والتعديل مع تغير المناخ

تسمى التحليلات التى تتناول تأثيرات تغير المناخ، والتكيف، والتعديل معًا التقييمات المتكاملة (IA). تمثل نماذج التقييم المتكامل نظام المناخ والعوامل الاجتماعية الاقتصادية التى توجه الانبعاث، وتأثيرات تغير المناخ، والاستجابات المحتملة للتعديل والتكيف فى إطار كمى متماسك. ومع أن هذه النماذج بالغة التبسيط إلا أنه يمكن استخدامها لتقليد تأثيرات الاستراتيجيات

المختلفة للتعديل والتكيف. وبالتالى يمكن استخدامها لحساب تكاليف السيناريوهات والسياسات البديلة ومنافعها، أو للقيام بمقارنة المنافع الهامشية والتكاليف الهامشية المطلوبة لتحديد السياسات المثالية. فى ضوء تعقيد الجمع بين هذه المكونات كلها فى نموذج واحد، يُمثَّل كل مكوِّنٍ عادة بشكل بالغ التبسيط. ويصح هذا خاصة بالنسبة لتمثيل تأثيرات المناخ. بسبب الشك فى توقعات التأثيرات ذات الخلفية الفيزيائية، وحقيقة أنها متاحة فقط فى القليل من مجالات التأثير، اعتمدت التقييمات المتكاملة غالبا على التقديرات المقارنة للتأثيرات الكلية المعبَّر عنها بالمصطلحات النقدية، كما ناقشنا من قبل.

مالت أولى دراسات المنفعة والتكلفة باستخدام نماذج التقييم المتكامل، وقد أجريت فى أواسط تسعينيات القرن العشرين، إلى استنتاج أن التعديل الضئيل له ما يبرره. وكانت غالبًا التخفيضات المثالية للانبعاث فى هذا القرن حوالى ١٠% فقط من خط الأساس المتوقع. ووجدت الدراسات الأحدث باطراد أن المزيد من التعديل مثالى، بينما أبقت على شكل التعديل الذى تختلف فيه التخفيضات ببطء عن خط الأساس وتكبر باطراد بمرور الزمن- ويسمى هذا الشكل غالبا "الالتواء السياسى".

على سبيل المثال، وجد تحليل حديث للمنفعة والتكلفة باستخدام نموذج التقييم المتكامل DICE أن التخفيض المثالى للانبعاث مسار غير منضبط لخط الأساس ١٥% فورا، ويرتفع إلى ٢٥% فى ٢٠٥٠ وإلى ٤٥% فى ٢١٠٠، لخفض ارتفاع الحرارة فى ٢١٠٠ من ٣,١ درجة مئوية إلى ٢,٦ درجة مئوية- تخفيضات جوهرية، لكن فى الحد الأدنى لتلك التى تفترض حاليًا. بدأت ضريبة الكربون المطلوبة لإنتاج هذا المسار للتعديل عند حوالى ٢٧

دولارا لطن الكربون، مرتفعة باتساق لتصل إلى ٩٠ دولارا للطن فى ٢٠٥٠ وإلى ٢٠٠ دولار فى نهاية القرن. التحليلات المنقحة بقيود قوية معتدلة على المناخ، تحد ارتفاع الحرارة إلى ٢,٥ درجة مئوية أو تركيز إلى ٥٥٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2، تتطلب ضرائب انبعاث أعلى من هذه بنسبة ١٠% فقط تقريبًا. ويمكن أن تسلم التحليلات الأخرى للمنفعة والتكلفة ذات التعديل المثالى مع فرضيات مختلفة بنتائج مختلفة بشدة، مع انخفاض مثالى للانبعاث فى القرن الحادى والعشرين يختلف من نسبة صغيرة تصل إلى ١٠% إلى ما يزيد عن ٨٠%، وتختلف ضرائب الانبعاث المرتبطة به أكثر من عشرة أضعاف، مع حدوث أعلى اختلاف فى فترة متأخرة من القرن.

إن مصادر هذه الاختلافات الكبيرة هى بالأساس عوامل ناقشناها بالفعل، بالإضافة إلى تفاعلاتها: كيف تُخصَم تأثيرات المستقبل، وفرضيات بديلة عن محددات التغير التكنولوجى، وعلاج الشك، وخاصة خطر التغيرات الكارثية المتطرفة أو التغيرات التى لا رجعة فيها. ولأن التغيرات فى الانبعاث لا تحدث تغيرا كبيرا إلا بعد عدة عقود، يؤدى خصم أكبر لتأثيرات المستقبل إلى تعديل أقل على المدى القريب، ويفضل التكيف عمومًا– وتحمل الأضرار الناجمة– على التعديل. إن افتراض تغير تكنولوجى يستجيب بقوة للسياسات والأسعار يميل إلى تفضيل مزيد من التعديل المبكر، بينما افتراض تغير تكنولوجى أسرع مستقل عن السياسات والأسعار يميل إلى قدر أقل من التعديل المبكر. إن الشك فى تأثيرات المناخ، وخاصة احتمالية التأثيرات المتطرفة، يفضل تعديلا مبكرا أقوى إذا كنا ننفر من المخاطر. إننا ننفر بشكل متكرر من المخاطر فى السياسة، ندافع ضد المخاطر مع احتمال

منخفض نسبيا إذا كانت نتائجها سيئة بشكل كاف، على سبيل المثال فى سياسة الدفاع والصحة العامة. لكن تأثير الشك يعتمد أيضًا على مصدر الشك. إذا كان النمو الاقتصادى فى المستقبل، كما فى بعض التحليلات، يساهم أكثر فى الشك فى تغير المناخ فى المستقبل، فإن ذلك يفضل تعديلا مبكرا أقل تكلفة.

تقدم نماذج التقييمات المتكاملة إطارًا ثمينًا للتفكير فى البنية واسعة النطاق لاستجابة المناخ، لتقييم كيف نوازن بين جهود التعديل والتكيف عبر الزمن، وتحديد الشكوك الأساسية من أجل البحث. بالإضافة إلى ذلك، بينما يمكن لفرضيات مختلفة أن تنتج تنوعًا واسعًا تمامًا فى السياسات المفضلة، ينشأ تلاقٍ جوهرى فى العديد من النقاط الأساسية. تحدد كل التحليلات منافع من تخفيضات الانبعاث. ورغم اختلاف التخفيضات المفضلة اختلافًا كبيرًا، فإنها تكبر فى وقت متأخر من القرن فى كل التحليلات. وبالإضافة إلى ذلك، تفضل كل التحليلات شكلا من السياسة التدريجية، تبدأ فيها صرامة تدابير التحكم والأسعار المرتبطة بها على الانبعاث بمستوى متواضع لكنه ليس تافهًا- أوصت معظم التحليلات بأسعار أولية للانبعاث من حوالى ٣٠-٦٠ دولارا لطن الكربون- لكن مع ارتفاع مستمر طويل المدى، وهكذا تصل أسعار الانبعاث مئات الدولارات بحلول أواخر القرن. وبعيدًا عن نقاط التلاقى هذه، توضح تحليلات خاصة تنوعًا كبيرًا، وخاصة فى وقت متأخر من القرن، معتمدة مبدئيا على الفرضيات البديلة بشأن الشك والنفور من المخاطر، والتغير التكنولوجى، والخصم. بعضها شكوك فى خصائص الاقتصاد أو نظام المناخ الذى سيكون، رغم أن ذلك لا يبرر تأجيل بدء الفعل، له الأولوية بالنسبة لمزيد من البحث لتحسين فهم المسارات السياسية المفضلة عبر الزمن. ويعكس بعضها الآخر، مثل المقاربات البديلة للخصم،

على الأقل جزئيا فرضيات معيارية مختلفة بشأن تقدير قيمة التأثيرات المستقبلية، التى ليست سهلة الحل خلال البحث.

٤-٤ النوع الثالث من الاستجابة: هندسة المناخ

بالإضافة إلى التعديل والتكيف، يوجد نوع ثالث من الاستجابات المحتملة لقضية المناخ يشمل تناولا نشطا للمناخ لمواجهة تأثيرات تزايد غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى. تتضمن هذه المقاربة، وتسمى عادة هندسة المناخ، مجموعة متنوعة من المقترحات. يتضمن بعضها إعاقة ضوء الشمس القادم، بحقن إيروسولات عاكسة فى الاستراتوسفير أو إطلاق شاشات فى الفضاء لإعاقة قليل من ضوء الشمس من الوصول إلى الأرض. ويتضمن بعضها الآخر معالجة دورة CO_2 فى العالم، على سبيل المثال زيادة امتصاص CO_2 الموجود فى المحيطات بتخصيب العوالق[١] البحرية ببعض المغذيات المحددة[٢] مثل الحديد، أو إزالة CO_2 مباشرة من الغلاف الجوى. يبدو العديد من مقاربات هندسة المناخ واعدة بشكل كبير فى الدراسات المبكرة، بتقديرات مبكرة للتكلفة أقل بكثير من التعديل التقليدى.

تتمثل أكبر قيمة محتملة لهندسة المناخ فى أن بعض المقاربات يمكن أن تعدل المناخ أسرع بكثير مما يمكن للتعديل. بينما يمكن حتى لبرنامج متطرف للتعديل أن يستغرق عقودًا ليبدأ فى الحد من سرعة تغير المناخ، فإن مظلة للشمس فى الفضاء ستواجه تأثير ارتفاع CO_2 بمجرد نشره، وهو ما قد

---

(١) العوالق *plankton*: مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة (المترجم).

(٢) *limiting nutrient*: مادة غذائية يحدد تركيزها فى بيئة الكائنات نموها وتكاثرها (المترجم).

يستغرق عقدًا أو نحو ذلك. ويمكن حتى لبرنامج لحقن إيروسولات فى الاستراتوسفير أن يتم نشره بشكل أسرع. وبالتالى، يمكن لمقاربات هندسة المناخ أن تقدم حماية من أسوأ السيناريوهات التى نفشل فيها فشلا رهيبا فى الحد من تغير المناخ أو نكون سيئى الحظ فيما يتبين من مدى سرعتها وشدتها. ويمكن أن يتحقق نطاق الجهد المطلوب بواسطة أمة، أو عدد قليل من أمم، غنية ومتقدمة تقنيا.

مع ذلك تحمل مثل هذه المعالجة النشطة للأرض على نطاق الكوكب مخاطر كبيرة. تم بالفعل تحديد بعض الآليات المحتملة للإخلال بالبيئة، مثل الإخلال بطبقة الأوزون من حقن الاستراتوسفير بالإيروسولات، لكن قد تكون هناك مخاطر بيئية أخرى لما نتوقعها بعد. ويبقى أن مخاطر أخرى قد تظهر خلال كيفية توقع تأثير هندسة المناخ الرخيصة على القرارات الأخرى لمعالجة مخاطر تغير المناخ. إن هندسة المناخ لا تواجه بالضرورة كل الأضرار البيئية الناجمة عن غازات البيوت الزجاجية. على سبيل المثال، مواجهة التأثير الإشعاعى لغازات البيوت الزجاجية من خلال حقن الإيروسول فى الاستراتوسفير لن يخفض التأثيرات المباشرة لارتفاع CO_2 فى الغلاف الجوى، من قبيل تغير النظام البيئى وتحمُّض المحيطات. وحتى لو تبين أن هندسة المناخ غير كافية، أو بالغة الخطورة، أو غير مقبولة سياسيًا، فإن النظرة التى تقدمها بحل تقنى رخيص ربما يقلل الجهود المبكرة فى التعديل التى يتبين بأثر رجعى أنها كانت ضرورية.

ربما تطرح أيضا مشاريع هندسة المناخ مشاكل قانونية ودبلوماسية وسياسية خطيرة، مثل الصراع بشأن من له سلطة القيام بها، وإن كانت

تصطدم بالمعاهدات الدولية الموجودة أو تتطلب معاهدات جديدة، وكيفية المشاركة فى التحكم فى هندسة المناخ وأعباء تمويلها. ستكون المشكلة الأكبر احتمال الصراع بين الأمم التى تؤيد مشروعا وتلك التى تعارضه، سواء بسبب معارضة مبدئية لمعالجة نشطة على نطاق الكوكب أو بسبب المعارضين الذين يتوقعون أن تضرهم تأثيرات المناخ الناجمة عن المشروع. فى أبعد الحدود، يمكن أن تعتبر دولة أخرى مشروع هندسة المناخ عملا عدوانيا، شبيها بمقترحات الحرب الباردة بشأن استخدام التعديل النشط للطقس باعتباره سلاحًا.

من الواضح أن الجهود الحالية بعيدة عن الفرص الجذابة المضنية من أجل التعديل والتكيف، ومن ثم ليس هناك أساس لتوقع أن تلعب هندسة المناخ أى دور مهم على المدى القريب فى الاستجابة لتغير المناخ. ويبقى أن هذه المقاربات، رغم تحدياتها الواضحة الكبيرة، تستحق اهتمامًا جادًّا. إن المزيد من البحث والتطوير والتقييمات الدقيقة الشاملة للمخاطر مضمون بوضوح وهكذا يمكن أن تكون الخيارات متاحة فى الحدث الذى تتطلبه، حتى إذا لم يكن هناك توقع لانتشارها على المدى القريب. وإذا بدت الأمور رهيبة فى ٢٠٣٠ أو ٢٠٥٠، فإن استجابة تقنية لإيقاف بعض التغيرات أو عكسها فى عقد آخر أو نحو ذلك ربما تكون على الأقل الخيار الأسوأ المتاح حينها- رغم مخاطره، ورغم المشاكل السياسية والقانونية الخطيرة التى ستطرحها.

٤-٥ الخلاصة: الاختيارات السياسية فى ظل الشك

السؤال الجوهرى فى اختيار استجابة لتغير المناخ هو كيف نعمل بمسئولية فى ظل الشك. رغم أن الشكوك فى تغير المناخ ليست ساحقة

وموهنة كما يوحى بعض المؤيدين لها، فإنها لا تزال تتخلل كل جزء من المشكلة. إن مسارات مستقبل انبعاث CO_2 موضع شك كبير. وأيضًا توقعات الاستجابة العالمية للمناخ والتأثيرات الإقليمية الناجمة عنها. وأيضا تقديرات الكفاءة والتكاليف والتأثيرات الأخرى لمختلف مقاربات التعديل والتكيف.

نعرف الكثير عن بعض هذه المسائل، وعن بعضها الآخر نعرف أقل، وعن بعضها لا نعرف إلا القليل جدا. وتنبثق بعض هذه الشكوك من حدود معرفتنا عن أنظمة الأرض. وينبثق أيضًا كثير من الشك من قدرتنا المحدودة على توقع سلوك الإنسان وأنماطه وتطوره. ومع توقع التقدم فى المعرفة، لن ينخفض أى نوع من هذه الشكوك ويصبح بلا أهمية فى أى وقت قريب.

لكن رغم وجود هذه الشكوك واستمرارها، هناك نقاط عديدة تدعمها المعرفة الحالية بقوة بشأن الاستجابة لتغير المناخ. تجاوز الدليلُ على حقيقة تغير المناخ والمخاطر التى يطرحها بكثيرٍ العتبةَ التى يطالب عندها التحليل الاقتصادى والاحتراس المعقول باستجابة. الاستجابات التى توازن بشكل معقول بين التكاليف والمنافع جامعة التكيف لخفض الأضرار الناجمة عن تغير المناخ مع التعديل للحد من سرعة تغير المناخ أو إيقافه، وأيضًا أبحاث المستقبل وتقييم خيارات هندسة المناخ بوصفها بديلا مؤقتا ضد الفشل المحتمل لهذه المقاربات. إن التكيف ضرورى لأنه لا يمكننا إيقاف تغير المناخ فى أى وقت قريب. يتطلب التكيف الفعال تغيرات بواسطة ممثلين كثيرين لم يعتادوا بعد على الاهتمام بتغير المناخ فى تخطيطهم. يمكن دفع التكيف بسياسات الحكومة وإنفاقها، ومن المحتمل أن يكون له نتائج جوهرية منتشرة حيث يحتمل فى حالات كثيرة أن تكون الشعوب والتجمعات والمناطق الفقيرة أكثر عرضة لتأثيرات تغير المناخ.

التعديل ضرورى للحد من تغيرات المناخ التى علينا التكيف معها، وينبغى أن يبدأ مبكرًا لخفض الاعتماد على التكيف فيما بعد. وتعطى تحليلات كثيرة الآن نصائح مماثلة بشأن الشكل العام لاستراتيجيات التعديل قريب المدى، والمكون الأساسى له مجموعة من السياسات المؤسسة على السوق التى تضع أسعارًا على الانبعاث، وتبدأ بشكل متواضع وتزيد عبر الزمن.

لكن هذا التلاقى للآراء عن بعض العناصر للفعل على المدى القريب لا يعنى أن الشكوك انتهت أو أنها بلا أهمية. على العكس، كما فى أى مجال مرتفع المخاطر فى الشئون الإنسانية، ينبغى الاختيار رغم الشك المستمر، وتتطلب الاختيارات المسئولة توازن الأفعال الحذرة على المدى القريب، والجهود المستمرة لتعلم المزيد، والاستعدادات المسبقة للتكيف ومراجعة القرارات استجابة للخبرة والمعرفة الجديدة والقدرات المتغيرة. عمومًا، هذه المبادئ المتعلقة باتخاذ القرارات فى ظل الشك تحظى بالقبول على نطاق واسع، لكن كيفية تطبيقها على قضية تغير المناخ مثير للخلاف إلى أقصى حد. فى الفصل التالى والأخير، نناقش المناظرة السياسية بشأن سياسة تغير المناخ وأيضًا توصياتنا لمسار مسئول وعملى موجه للاستجابة لقضية تغير المناخ.

مزيد من القراءة بالنسبة للفصل الرابع

Leon Clarke, J. Edmonds, H. Jacopy, H. Pitcher, J. Reilly, and R. Richels (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations.* Synthesis and Assessment Product 2.1a. Washington, DC: US Climate Change Science Program.

تحليل حديث للنتائج الاقتصادية والتكنولوجية والسياسية لاستقرار تغير المنـــاخ عنــد أربع مستويات بديلة، مؤسس على ضوابط مشتركة لغازات متعددة تنبعث من البيوت الزجاجية، باستخدام ثلاثة نماذج للتقييم المتكامل.

IPCC (2000). *Emission Scenarios.* Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. N. Nakicenovic and R. Swart (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

IPCC (2007b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C. E. Hanson (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

هذا أحدث تقييم كامل صادر عن IPCC's Working Group II، يراجـــع المعرفـــة بـــشأن التأثيرات المحتملة لتغير المناخ، والقدرة على التكيف، وحساسية vulnerability الأنظمـــة البيئية والاجتماعية لتغير المناخ.

IPCC (2007c). *Climate Change 2007: Mitigation and Climate Changes.* Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, and L. Meyer. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

هذا أحدث تقييم كامل صادر عن IPCC's Working Group III، يراجع المعرفة بـــشأن الفرص التقنية والاقتصادية لخفض محصلة انبعاث غازات البيوت الزجاجية والأدوات السياسية لتشجيع تلك التخفيضات.

IPCC (2007d). *Climate Change 2007: Synthesis Report.* Core Writing Team, K. R. Pachauri, and A. Reisinger (eds.) Cambridge, UK: Cambridge University Press.

يجمع "IPCC "synthesis report النتائج من تقييمات مجموعات العمل الـــثلاث لتقـــديم تحليل متكامل لنتائج المسارات البديلة للانبعاث وأهداف التخفيض.

Richard Moss et al (2009). *Representative Concentration Pathways: A New Approach Scenario Development for the IPCC.* Nature, in press. Available at: www.pnl.gov/publications/2008/papers/20080903_nature_new_scenarios.pdf

قدم التقرير الخاص لسنة ٢٠٠٠ عن سيناريوهات الانبعاث النتائج والخلفية لسيناريوهات IPCC الخاصة بانبعاث خط الأساس المستخدم بوصفه معلومات inputs لتوقعات نموذج المناخ خلال IPCC Fourth Assessment Report. يقدم بحث Moss et al الخطوط العريضة للعملية الجديدة لتوليد سيناريوهات المناخ، بداية من التنسيق على المسارات البديلة للقوة الإشعاعية radiative forcing، ليستخدم في IPCC Fifth Assessment Report.

William Nordhaus (2008). *A Question of Balance: Weighing the Option on Global Warming Policies*. New Haven: Yale University Press.

أحدث تحليل لاستجابات تعديل المناخ والتكيف معه، يستخدم نموذج DICE للتقييم المتكامل. يحتوى على مناقشة لمراجعة ستزن Stern Review ودور فرضيات الخصم في توليد تقديراته الكبيرة لأضرار المناخ، ويحتوى أيضا على مناقشة للاختيار السياسى بين ضرائب الانبعاث وأنظمة الذروة والتجارة.

Nicholas H. Stern (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

تقييم اقتصادى شامل لتغير المناخ، بتوجيه من led by كبير المستشارين الاقتصاديين سابقا في حكومة المملكة المتحدة. الخلاف بشأن هذه التقديرات المرتفعة لتأثيرات المناخ، بشكل أساسى نتيجة معدل الخصم المنخفض، وجه اهتماما زائدا بشكل كبير إلى مشكلة تحديد الاستراتيجيات المثالية للمناخ اجتماعيا.

Jefferson W. Tester, E.M. Drake, M.J. Driscoll, M.W. Golay, and W.A. Paters (2005). *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. Cambridge, MA: MIT Press.

كتاب شامل عن موارد الطاقة البديلة والتكنولوجيات، والشكوك الأساسية والطرق التحليلية المتضمنة فى تقييم الطاقة البديلة فى المستقبل.

الفصل الخامس

حالة سياسة المناخ ومسار إلى الأمام

لخصت الفصول السابقة المعرفة الحالية والشك بشأن المناخ وكيفية تغيره، والدليل على الأسباب البشرية للتغيرات الملحوظة، ومجال التغيرات المتوقعة هذا القرن، وأيضًا المعرفة الحالية الأقل تحديدا بشأن التأثيرات والاستجابات المحتملة لتغير المناخ. هذا الفصل الأخير سياسى أكثر، من بضعة مفاهيم. أولا: نفحص السياسات الحالية للموضوع، مع مراجعة سياسات الممثلين الأساسيين وأوضاعهم. ثانيا: نلخص ونقيِّم المجادلات الرئيسية المطروحة ضد القيام بفعل جاد للحد من تغير المناخ. أخيرًا: نقدم أحكامنا الخاصة بطبيعة الاستجابة لقضية المناخ التى تبدو مناسبة من منظور المعرفة العلمية والاحتمالات السياسية الحالية.

٥-١ سياسات تغير المناخ: السياسات والأوضاع الحالية

رغم أن تغير المناخ وضع على الأجندات السياسية فى وقت مبكر يرجع إلى ١٩٩٠، لم يحدث إلا تقدم ضئيل فى المناظرات السياسية فى تسعينيات القرن العشرين ولم يحدث فى الواقع أى تقدم بين عام ٢٠٠١ وعام

٢٠٠٨، سواء فى الولايات المتحدة أو على المستوى الدولى. فى هذه الفترة، قطع الاتحاد الأوروبى وبعض الدول الأعضاء الرائدة فيه، وأيضا بعض الولايات والمقاطعات فى أمريكا الشمالية، خطوات أولية مهمة، لكن حتى هذه بعدت كثيرا عن المطلوب للبدء فى التحول المطلوب فى قطاع الطاقة. لم تقم سلطات أخرى إلا بأعمال رمزية وصغيرة بالغة الضعف بالنسبة للمهمة المطلوبة، أو لم تقم بشىء على الإطلاق.

بدأ هذا الوضع فى التغير أواخر ٢٠٠٧ وفى ٢٠٠٨، حين تجمعت عوامل عديدة- بما فى ذلك نتائج وتقييمات علمية جديدة، واهتمام شعبى كبير فى الكثير من الأمم، وزيادة النشاط فى كونجرس الولايات المتحدة وحكومات الولايات، وفى حملة الانتخابات الأمريكية فى ٢٠٠٨- لتزيد الدعم لعمل على المدى القريب. تحركت فى أعقاب مؤتمر كوبنهاجن المقترحات والمجادلات السياسية عن تغير المناخ بسرعة نحو الهدف وقد تطورت، وهكذا فإن أى وصف يمكن أن نقدمه هنا للمخاطر يكون الزمن قد تجاوزه. ولتقديم سياق للمناظرات السياسية المستمرة، يقدم هذا القسم لمحة لموقع المقترحات والمناظرات السياسية فى أوائل ٢٠١٠.

كما ناقشْنا فى الفصل الرابع، تشمل الاستجابات الكبرى لتغير المناخ تدابير التعديل لخفض انبعاث غازات البيوت الزجاجية، وتدابير التكيف لخفض الحساسية لتأثيرات تغير المناخ، وخيارات هندسة المناخ لفحصها تأمينا ضد خطر التغير الشديد فى المناخ بصورة غير متوقعة أو فشل مقاربات التعديل والتكيف. لكن المناظرة الحالية تركز أساسا على التعديل، لأنه الاستجابة التى بالنسبة لها يتطلب التخلف الطويل بأوضح ما يكون

قرارات على المدى القريب، والاستجابة التى تتضمن بأوضح ما يكون ممارسة سلطة الحكومة على الأعمال الخاصة. باستثناءات قليلة، يعتبر التعديل وهندسة المناخ طرحًا لاختيارات المستقبل وليسا طرحًا فوريا، وأقل اقتحامًا لحياة المواطنين واختياراتهم. هنا، نتتبع أولويات المناظرة الحالية: بينما نلاحظ أن التكيف سيكون جزءا أساسيا من استراتيجية تغير المناخ، ويتبين أيضًا أن تدابير هندسة المناخ ربما تكون مهمة، نركز فى الأساس على القرارات والمناظرات بشأن التعديل.

فى الولايات المتحدة الأمريكية، ركدت سياسة المناخ سنوات عديدة بعد قرار الرئيس بوش فى ٢٠٠١ بعدم التصديق على اتفاقية كيوتو. وكما لخصنا فى الفصل الأول، لم تتضمن سياسات الولايات المتحدة فى ظل إدارة بوش إلا هدفًا ضعيفا غير ملزم بشأن كثافة الانبعاث (الانبعاث لكل دولار من الناتج المحلى الإجمالى)، بالإضافة إلى برامج وأبحاث تطوعية. بداية من ٢٠٠٣، بدأت مشاريع القوانين فى الكونجرس تقترح تدابير أقوى، متضمنة أهداف انبعاث على مستوى الأمة ونظم تصاريح للانبعاث قابلة للتداول بالنسبة لأكبر المصادر المعنية. نما نشاط الكونجرس فى ٢٠٠٨، حين قدمت سبعة مشاريع قوانين بشأن تغير المناخ، تقترح تخفيضات فى الانبعاث تصل إلى ٧٥% بحلول ٢٠٥٠. لكن حين عرضت هذه المشاريع مقدما فى المناظرة، لم يتم إصدار تشريع بأى منها.

بقليل من العمل على المستوى الفيدرالى، مرت قيادة المناخ فى الولايات المتحدة إلى الولايات حول ٢٠٠٢. وقد شرَّعت معظم الولايات الآن شكلا من سياسة المناخ أو خطة عمل، وتبنت أكثر من ٢٠ ولاية أهدافًا

لخفض شامل للانبعاث على مستوى الولاية. بالإضافة إلى ذلك، طورت ثلاث مجموعات من الولايات- فى الغرب، والغرب الأوسط، والشمال الشرقى- نظامًا إقليميا للذروة والتجارة بالنسبة للمصادر الكبيرة للانبعاث. بدأت مجموعة الشمال الشرقى، المبادرة الإقليمية بشأن غازات البيوت الزجاجية (*RGGI*)، مزادات علنية فى ٢٠٠٨ للتصاريح المطلوبة للمصادر الكبرى بداية من ٢٠٠٩. لكن الذروة المرتفعة فى هذا النظام أدت إلى وفرة فى التصاريح- وخاصة فى ركود ٢٠٠٨-٢٠٠٩- وكانت أسعار هذه التصاريح ١٠-١٥ دولارا فقط لطن الكربون (٣-٤ دولارات لطن *CO2*).

كان أقوى فعل على مستوى الولايات فى كاليفورنيا، التى أصدرت تشريعا بحد إجبارى على انبعاث الولاية عند مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠٢٠، مع هدف إضافى لتخفيض ٨٠% بحلول ٢٠٥٠؛ معايير السيارات والأدوات والوقود المحتوى على كربون؛ ونظام للذروة والتجارة قيد الإنشاء ليتكامل مع البرنامج الإقليمى للمبادرة الغربية بشأن المناخ. تتطلب معايير المركبات، وتعتمد على السلطة الفريدة لكاليفورنيا فى ظل قانون الهواء النقى فى الولايات المتحدة لتنظيم تلوث السيارات، تتطلب تخفيضات على مراحل فى انبعاث *CO2*، تبدأ فى ٢٠٠٩ وتصل إلى ٣٠% بحلول ٢٠١٦. وتأخر هذا المعيار فى البداية نتيجة تحديات قانونية ورفض وكالة حماية البيئة ***EPA*** التخلى عن قانون الهواء النقى وهو ما تتطلبه كاليفورنيا للتنظيم بما يتجاوز المعايير القومية. تراجعت إدارة أوباما عن هذا الرفض، ومن ثم أُعلِنت فى مايو ٢٠٠٩ معايير جديدة صارمة على المستوى القومى مماثلة لتلك التى اقترحتها كاليفورنيا، متطلبة متوسطًا اقتصاديًا للوقود يبلغ ٣٥,٥ ميلا لكل جالون بالنسبة للسيارات والشاحنات الخفيفة بحلول ٢٠١٦.

استمر العمل بكثافة خلال ٢٠٠٩ لتطوير سياسات بشأن غازات البيوت الزجاجية فى الكونجرس والسلطة التنفيذية. صدر بشق الأنفس مشروع قانون رئيسى للبيئة والطاقة، يتسق عمومًا مع تصريحات من الإدارة، فى يونيو عن مجلس النواب. ويشمل هذا المشروع سلسلة من الأهداف لخفض الانبعاث فى الولايات المتحدة، بحيث يزداد الخفض بمرور الزمن ليصل تقريبا إلى ٨٠% بحلول ٢٠٥٠. وتتحقق هذه الأهداف أساسًا بنظام الذروة والتجارة بالمشاركة فى مزادات علنية تزداد بمرور الزمن، ويستخدم الريع لتمويل تكنولوجيات الطاقة النظيفة والإعفاءات الضريبية للعاملين. ويتضمن المشروع أيضًا بنودًا لتنظيم الانبعاث فى مختلف القطاعات، ودعم البحث والتطوير، وعمليات للتقييم العلمى والتقنى، ومراجعة التدابير التنظيمية. وتبقى بنود سياسية خاصة فى تغير مستمر مع استمرار العملية التشريعية، بداية من العمل فى مجلس الشيوخ، حيث صوتت على مشروع قانون مماثل إلى حد بعيد لجنة البيئة والأشغال العامة فى نوفمبر ٢٠٠٩ رغم اعتراضات الأقلية الجمهورية، ولم يعرض بعد على مجلس الشيوخ.

بينما تدعم السلطة التنفيذية إصدار تشريع جديد، تستجيب أيضًا لقرار المحكمة العليا فى ٢٠٠٧ بالإعداد لتنظيم غازات البيوت الزجاجية فى ظل قانون الهواء النقى. فى قضية ماساشوسيتس ضد وكالة حماية البيئة، وجدت المحكمة أن غازات البيوت الزجاجية ملوثات كما يعرفها القانون، وهكذا ينبغى على وكالة حماية البيئة أن تصدر ما يسمى "نتائج خطرة" سواء كانت تهدد الصحة العامة أو الرفاهية، ويجب تنظيمها إذا كانت تفعل ذلك. أصدرت

وكالة حماية البيئة النتائج المطلوبة فى مارس ٢٠٠٩، واقترحت قواعد للانبعاث من المصادر الكبيرة الثابتة والمركبات فى سبتمبر. ويجب أن يتناسب تنظيم غازات البيوت الزجاجية بشكل أخرق مع إطار قانون الهواء النقى، وهكذا قد يكون من المفضل إصدار تشريع جديد مُعَدٍّ لهذا الغرض. لكن يمكن، فى الحد الأدنى، أن يقدم هذا الرسوخ الواضح للسلطة التشريعية التى تتمتع بها وكالة حماية البيئة تهديدًا مفيدًا لتشجيع الدعم السياسى لوضع ضوابط لغازات البيوت الزجاجية أكثر براعة وكفاءة فى ظل تشريع جديد. وفى الوقت ذاته، أزاحت بعض المقترحات التشريعية التى يتم تداولها هذه السلطة عن قانون الهواء النقى، ومن ثم يقدم التشريع الجديد السلطة القانونية الوحيدة لضبط انبعاث غازات البيوت الزجاجية. وسوف تستمر هذه المفاوضات فى كل الاحتمالات حتى تكتمل المناظرة الحالية بشأن تشريع جديد للمناخ.

فى مقابل الولايات المتحدة، حيث صار فجأة تطوير سياسة بشأن تغير المناخ أكثر جدية فى حملة انتخابات ٢٠٠٨، اتبع الاتحاد الأوروبى مبادرات طموحة خاصة بالمناخ لما يزيد عن عقد. ويحتمل أن تفى بعض دول الاتحاد الأوروبى بتعهداتها عن الفترة الأولى من اتفاقية كيوتو، رغم أن بيانات حديثة توحى بأن الاتحاد الأوروبى ككل سوف يقصر بعض الشيء فى الوفاء بها. إن المملكة المتحدة وألمانيا فى أقوى الأوضاع، وسوف تخفض الدولتان الانبعاث بما يتجاوز تعهداتهما فى كيوتو نتيجة للجمع بين الظروف المواتية والسياسات القوية. وأعادت أحدث خطة أوروبية بشأن المناخ- صدر تشريع بها فى ديسمبر ٢٠٠٨، رغم المقاومة الكبيرة من المجموعات الصناعية

وبعض الدول الأعضاء- تأكيد الهدف المعلن للاتحاد الأوروبى بخفض الانبعاث ٢٠% تحت مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠٢٠، أو ٣٠% إذا أصدرت الدول الصناعية الأخرى الكبرى تشريعات بقيود مماثلة. ويتضمن البرنامج معايير للكهرباء المتجددة، وكفاءة المركبات، والوقود منخفض الكربون، وذُرَى الانبعاث القومى بالنسبة لقطاعات معينة، وتمويل مسيرة مشاريع اصطياد الكربون، وتدابير أخرى.

إن محور برنامج الاتحاد الأوروبى بشأن المناخ نظام تجارى للانبعاث بالنسبة للمصادر الكبيرة، تغطى ٤٠% تقريبا من الانبعاث الكلى. وقد عانت المرحلة الأولى من هذا النظام، ٢٠٠٥-٢٠٠٧، من حصص مرتفعة من التصاريح بواسطة السلطات القومية وشهدت تقلبًا كبيرًا فى الأسعار، بما فى ذلك الانهيار المفاجئ للأسعار فى منتصف ٢٠٠٦. وشهدت المرحلة الثانية، وتقابل الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٢ من تعهدات كيوتو، صراعًا أكبر لكنها شهدت أيضًا إنجازًا أكبر، حيث طلبت مفوضية الاتحاد الأوروبى من عدة أمم خفض حصصها للاقتراب أكثر من الهدف الكلى لكيوتو. وفى هاتين المرحلتين، تطلب النظام توزيع كل التصاريح تقريبًا بالمجان. وقد واجهت خطط للتحرك باتجاه المزادات فى المرحلة الثالثة، ٢٠١٣-٢٠١٧، معارضة قوية، وتم الاتفاق على أن خفض المزايدة الأولية إلى ٢٠% ضرورى لضمان تبنى الخطة الجديدة للمناخ. ولا تزال المفاوضات جارية لتوسيع النظام ليشمل الانبعاث من الطيران والنقل البحرى، وتحقيق ضريبة كربون على نطاق أوسع للحد من خسائر التنافس إذا فشل الشركاء التجاريون للاتحاد الأوروبى فى القيام بعمل صارم بصورة مماثلة.

أصدرت البلاد الصناعية الأخرى برامج للحد من الانبعاث، بدرجات متفاوتة من الجدية، لكن ليس من بينها ما يفى بتعهداتهم فى كيوتو. تضمن برنامج اليابان بشأن المناخ فى ٢٠٠٥ أهدافًا للتخفيض على مستوى القطاعات، ووضع معايير للكفاءة، وتشجيع المركبات منخفضة الانبعاث من خلال برامج حكومية دعائية للشراء، وأيضًا تدابير تطوعية متنوعة، وتعويل أساسى على الانهيارات والقروض المشتراة. وتم التعهد بضمانات إضافية فى ٢٠٠٨ وتضمنت بعد تغيير الحكومة فى ٢٠٠٩ إعلان برنامج للذروة والتجارة على المستوى القومى، وتعهد بتخفيض الانبعاث الكلى بنسبة ٢٥% تحت مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠٢٠. من الدول الصناعية الرئيسية، كانت كندا أكبر الدول تقصيرًا فى الوفاء بتعهداتها فى كيوتو، لأنها صدقت على المعاهدة بعد عقد نمو الانبعاث بقوة، وكانت برامجها للتعديل ضعيفة، ومشاورات غير مثمرة تسعى للإجماع على التعديل. كما فى الولايات المتحدة، اتخذت بعض الأقاليم الكندية خطوات أقوى مما اتخذته حكومة الدولة: تشق كولومبيا البريطانية الطريق ببرنامج شامل، يتضمن ضريبة إقليمية على الكربون.

وشهدت السنوات القليلة الأخيرة أيضًا تطورًا كبيرًا فى الخطط والسياسات المتعلقة بغازات البيوت الزجاجية فى الدول النامية والاقتصاديات الناشئة. حتى الآن، أعلن اثنان فقط من الاقتصاديات النامية الكبرى أهدافا للانبعاث القومى الإجمالى. تعهدت كوريا الجنوبية بتخفيض الانبعاث ٤% تحت مستويات ٢٠٠٥ بحلول ٢٠٢٠، مدعومة بسياسات متعددة تشمل نظاما للذروة والتجارة وبرنامج مبتكر لوضع ملصق خاص بغازات البيوت

الزجاجية على المنتجات. أعلنت جنوب أفريقيا عن خطة للانبعاث تصل إلى قمتها بحلول ٢٠٢٥، تستقر لمدة عشر سنوات، ثم تقل. وتبنت دول نامية أخرى كثيرة سياسات للتعديل، وأعلن بعضها عن أهداف لتخفيض كثافة الانبعاث (الانبعاث بالنسبة للناتج المحلى الإجمالى). فى أواخر ٢٠٠٩، تعهدت الصين بخفض الكثافة ٤٠-٤٥% تحت مستويات ٢٠٠٥ بحلول ٢٠٢٠، وأعلنت الهند أنها ستخفض الكثافة ٢٤% بحلول التاريخ نفسه. وتدعم الهدفين قوانينُ محليةٌ متعددة واستراتيجيات طموحة لابتكار طاقة نظيفة، خاصة فى الصين. توقعت إحدى المنظمات غير الحكومية أن تخفض السياسات التى تم تشريعها الانبعاث فى ٢٠٢٠ تحت خط الأساس بنسبة ١٣% فى الصين وبنسبة ١٩% فى الهند، رغم النمو الاقتصادى السريع المتوقع.

تحدث كل هذه المبادرات القومية فى ظلال المفاوضات الدولية المستمرة. كما ناقشنا فى الفصل الأول، دخلت اتفاقية كيوتو حيز التطبيق فى ٢٠٠٥، بعد التصديق الروسى عليها، وفى الحقيقة كل الأمم الآن باستثناء الولايات المتحدة أطراف فيها. ونحن لآن فى الفترة الأولى لتعهدات كيوتو ٢٠٠٨-٢٠١٢، لكن أمما قليلة جدا من التى وافقت على الحد من الانبعاث القومى فى هذه الفترة (تسمى "أمم المرفق ١") سوف تحققه.

ورغم هذه القرارات، حققت المفاوضات منذ بالى تقدما ضئيلا عما قبل الورطة. تحقق تقدم ضئيل أو لم يتحقق أى تقدم فى البنود الأكثر أهمية فى الأجندة، طبيعة التعهدات الجديدة الخاصة بالتعديل بالنسبة للبلاد الصناعية والنامية والعلاقة بينها، وطبيعة التكنولوجيا والمبادرات المالية لدعم مساهمة

الدول النامية. تقدمت مفاوضات التعديل بالنسبة للبلاد الصناعية والنامية على مسارات منفصلة، وقد أصرت الدول النامية على الإبقاء على عدم الربط بينها، وعلى الوفاء بتعهدات الدول الصناعية أولا. فى مناقشات الدول الصناعية فى ٢٠٠٨، واجهت المقترحات الأوروبية بتخفيض ٢٥-٤٠% بحلول ٢٠٢٠ مقاومة قوية من اليابان وروسيا وكندا وأستراليا وآخرين- كل من كانوا، باستثناء الولايات المتحدة، يتنقلون بين الإدارات وعدم المشاركة بشكل فعال. وكان الإنجاز الأكبر حتى الآن الموافقة على "تمويل للتكيف" بفرض ضريبة على مشاريع التعديل الدولية، لكن المبالغ المتضمنة أصغر بكثير من البلايين العشرة المطلوبة سنويًا لدعم التعديل والتكيف فى الدول النامية. يركز الآن كثير من المشاركين فى خفض التوقعات بالنسبة لكوبنهاجن- كما حدث مرات كثيرة فى تاريخ الجهود الدولية بشأن تغير المناخ- وإعادة تعريف الغرض منه بوصفه بداية ومفاوضات بنيوية جادة وليس إتمامها. ثمة مبادرة كبرى للولايات المتحدة يمكن أن تعطى زخمًا للمفاوضات، لكن ربما لم يحن الوقت للتسليم بنتائج ملموسة فى كوبنهاجن.

من بين الممثلين الرئيسيين غير الحكوميين، تفضل جماعات البيئة تعديلا مبكرا وأقصى دعم للأهداف الأكثر صرامة (على سبيل المثال، استقرار التركيز عند ٤٥٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2، مع زيادة الاهتمام حتى بالأهداف الأكثر صرامة مثل ٣٥٠ جزء فى المليون)، والمتطلبات الأكثر حزمًا لفعل على المدى القريب (على سبيل المثال، نقطة النهاية العليا لوضع الاتحاد الأوروبى، تخفيض ٤٠% للبلاد الصناعية بحلول ٢٠٢٠). إن أوضاع الصناعة فى التعديل أكثر اختلاطا، وقد كشفت عن حركة أكبر على

مدى السنوات القليلة الماضية. فى المناظرات المبكرة بشأن المناخ فى تسعينيات القرن العشرين، عارض معظم ممثلى الصناعة التعديل بقوة، ودعم كثيرون الهيئات غير الحكومية الخاصة بالصناعة، وقد امتدت معارضتها إلى إنكار الدليل العلمى. ومن أبرز هذه الجماعات التحالف العالمى للمناخ *Global Climate Coalition*، وتشكل سنة ١٩٨٩ من جماعة من منتجى الوقود الحفرى والمصانع الرئيسية المستخدمة للطاقة. بدأ هذا التحالف فى التفكك أواخر التسعينيات حين رفض بعض الأعضاء موقفه المتطرف، بداية من دو بونت وبى بى فى ١٩٩٧، ورويل دوتش/شل[١] فى ١٩٩٨. وكان لخسارة اثنين من المنتجين الرئيسيين للبترول أهمية خاصة، حيث بدأت هذه الشركات فى تغيير مواقفها بوصفها شركات للطاقة مسئولة بيئيا.

بدأ عدد قليل من قطاعات الأعمال دعم التعديل مبكرًا. وتشمل مجموعات صغيرة مثل صناعة التزحلق ("دول الجزر الصغيرة *small island states*" للقطاع الخاص)، التى أيدت مشروع قانون للتعديل فى ٢٠٠٣، وأيضًا القطاعات الكبيرة مثل التأمين والتمويل، التى اعتبرت تغير المناخ خطرا على قيمة الأصول وفرصة للأسواق من أجل موارد مالية جديدة. فى البداية كان نفوذ هذه المجموعات أقل من نفوذ المجموعات المناهضة للتعديل أو التى تجلس على الحافة، لكن هذا التوازن تحول بمرور الزمن. زيادة عدد المصانع الكبيرة التى سلمت الآن بخطورة تغير المناخ وتحولت من معارضة التعديل ببساطة إلى تأييد مبادئ من أجل سياسات للتعديل يمكنهم التعايش

---

(١) *Du Pont*: شركة كيميائية أمريكية تأسست ١٨٠٢. *BP*: شركة عالمية للبترول والغاز، مركزها الرئيسى لندن. *Royal Dutch/Shell*: شركة شل للنفط والغاز (المترجم).

معها- على سبيل المثال، ينبغى أن تكون هذه السياسات مربحة، ودولية، ومؤسسة على تقييم علمى للمخاطر، وتطبق علـــى نطاق واسع وبالتساوى ولا تستهدف صناعات معينة. بحلول ٢٠٠٥، شارك كثير من منتجى الطاقة، والأجهزة الكهربية، والشركات الصناعية الهيئات غير الحكومية المهتمة بالبيئة لدعم تخفيض الانبعاث بشكل منظم. دعت إحدى هذه الجماعات، الشراكة للعمل من أجل البيئة *Climate Action Partnership* فى الولايات المتحدة، إلى نظام للذروة والتجارة فى الولايات المتحدة فى ٢٠٠٧ واقترحت مخططا لسياسة تفصيلية فى أوائل ٢٠٠٩، متضمنة تخفيضات على مراحل تصل إلى ٨٠% بحلول ٢٠٥٠- وتشبه مقترحات الإدارة الحالية والكونجرس.

كما هو الحال دائما بالنسبة للجماعات الكبيرة المتنوعة، يعكس هذا التحول فى وجهات نظر المؤسسات الصناعية باتجاه دعم حذر للتعديل دوافعَ واهتماماتٍ متنوعةً. ربما غير بعض قادة الشركات وجهات نظرهم بإخلاص بناء على دليل علمى على المخاطر الشديدة لتغير المناخ. ربما يرى آخرون أن التعديل حتمى، عاجلا أو آجلا، ومن الحكمة أن يشاركوا فى المفاوضات بشكل بنَّاء. وربما رأى آخرون أن التحول إلى تكنولوجيات لطاقة آمنة للمناخ يحمل فرصًا للعمل. وربما يناور للاستيلاء على الريع الذى ستمنحه دون شك السياسات الصارمة للتعديل.

لهذا التحول فى مواقف الصناعة جماعة يسارية تقلصت فى العدد والمكانة تعارض بصلابة العمل على تغير المناخ، مؤسسة أيضا على أسباب واهتمامات متنوعة. ومنها، يدرك البعض أن أى جهد جاد للتعديل يهدد

اهتماماتهم الجوهرية. على سبيل المثال، يتضمن المعارضون الباقون بعض من يستثمرون بكثافة فى الفحم أو الهيدروكربونات الثقيلة مثل الرمال النفطية، رغم أن بينهم أيضا بعض الشركات تحمى مضاربتها وتعول على اصطياد الكربون- متشجعة تحت شعار "فحم نقى"- للحفاظ عليها. وتدرك هيئات أخرى وأفراد تغير المناخ والاستجابات المحتملة أساسًا فيما يتعلق بالأيديولوجيات السياسية المتنافسة، وهكذا من غير المحتمل أن يقنعهم دليل الأساس العلمى لمخاطر تغير المناخ أو التصورات التكنولوجية لطاقة آمنة للمناخ. مع هذا المجال من الآراء، تحول بوضوح المشهد السياسى للفعل فيما يتعلق بتغير المناخ، لكنه بقى معقدا ومثيرا للخلاف.

٥-٢ سياسات تغير المناخ: المجادلات الباقية ضد الفعل

على ضوء التحول الحديث فى الآراء السياسية إلى زيادة الاهتمام بمخاطر تغير المناخ والدعم المتزايد لفعل جاد، من المعقول أن نتوقع تحول المناظرة من التساؤل عن القيام بفعل، إلى التساؤل عما ينبغى القيام به. لكن هذا ليس صحيحًا تماما. تبقى سياسات العمل من أجل المناخ مثيرة للخلاف، مع وجود كثيرين من الممثلين والهيئات لا يزالون يعارضون بقوة عمل أى شىء على المدى القريب. ورغم تقلص أعداد هذه الجماعة ومكانتها وتأثيرها، فإنها لا تزال تضم كثيرًا من الشخصيات البارزة فى السياسة والحكومة، وأيضا بعض قادة الصناعة والكثير من المنظمات غير الحكومية والأفراد. وتتنوع هذه المجموعات فى أسباب معارضتها للفعل، لكن هناك

اشتراك مهم فى الادعاءات التى تدعمها لعدم القيام بفعل. والدليل العلمى على تغير المناخ والدعم السياسى للفعل يقوى، تصبح بعض المجادلات المقدمة متطرفة باطراد، وحادة وغير مستساغة. لكن هذه المجادلات لا يزال يعتنقها ممثلون سياسيون أقوياء يمارسون تأثيرًا مستمرًا على الرأى العام، ومن ثم يجب تقديمها، وهو ما نقوم به فى هذا القسم.

مثل الأوضاع السياسية الحالية، المقولات التى تطرح لمعارضة تَبَنِّى عمل بشأن المناخ هدف متحرك. وتبقى بعض الاستمرارية، على مدار الزمن ومن قضية إلى أخرى، ومن المفيد أن نقدم لمحة عنها. نجمع هذه المجادلات فى أربع مجموعات: هجمات على اتفاقية كيوتو؛ ومقولات أن التعديل الجاد باهظ التكاليف؛ وإنكار الدليل العلمى بشأن تغير المناخ وما يرتبط بهذا الإنكار من هجمات على العمليات والمؤسسات العلمية؛ ومجادلات نوعية بشأن الشك وأهميته بالنسبة للقيام أو عدم القيام بعمل. يلخص هذا القسم وينتقد هذه المجادلات بدوره.

نوع أخير من المقولات، وهو يزداد بروزًا والمجادلات الأخرى يصبح الدفاع عنها متعذرًا بشكل مطرد، يعتمد على أدوات بلاغية خالصة دون أساس جوهرى. على سبيل المثال، يضع مؤيدو قضية المناخ فى صيغة سؤال، "هل تغير المناخ يمثل أزمة؟" وتعتمد الاستجابة لهذا بشكل أساسى على مسألة تعريف ما يمثل أزمة، منطقة يتميز فيها المناظر الأكثر مهارة، وليس المناظر الذى يحمل دليلا علميا أقوى ليقدمه عن مخاطر تغير المناخ. هذه الحيل فى المناظرة تستدعى بشكل متكرر الأطر أو الرموز السياسية العريضة، التى تعالج تغير المناخ بوصفه صراعا بين أيديولوجيات سياسية

لا قضية تعتمد على تقييم الدليل العلمى أو الآراء العلمية بشأن الفعل الذى يكفله هذا الدليل. وكثيرا ما تصاحبها أيضا هجمات شخصية على شخصيات عامة يؤيدون القيام بعمل قوى، مثل نائب الرئيس السابق أليجور أو جيمس هنسن، العالم فى ناسا. يمكن أن تكون هذه الحيل قوية فى المناظرات العامة، خاصـــة فـــى تحريـــك الدعـــم على أساس انتماءات سياسية جاهزة، لكنها لا تحتوى على محتوى جوهرى ومن ثم لن نطرحها هنا.

الهجمات على اتفاقية كيوتو

رغم أن اتفاقية كيوتو ونقاط ضعفها تتناقص أهميتها بوصفها بؤرة لصناعة السياسة والمفاوضات تتجاوز نهاية فترة تعهدات كيوتو فى ٢٠١٢، لا تزال الهجمات على الاتفاقية تتكرر فى المجادلات ضد التعديل. كثيرا ما كانت الاتفاقية، لسنوات عديدة بعد تبنيها، تهاجم بوصفها "تحمل عيوبا قاتلة". وقد صارت معظم هذه الهجمات فى غير موضعها حيث صححت المفاوضات التالية أكثر نقاط ضعف الاتفاقية حدة، لكن استمرت ثلاثة انتقادات ضد تعهداتها الجوهرية بالتعديل: عشوائية وغير مؤسسة على العلم؛ بالغة القوة وبالغة الضعف فى الوقت ذاته- بالغة القوة وباهظة التكاليف على المدى القريب، لكنها أضعف من أن تحقق تخفيضًا ذا أهمية على المدى القريب فى تغير المناخ العالمى.

من هذه الانتقادات، أول اثنين صحيحان حقًا لكنهما ليسا كافيين أبدا لاتخاذ موقف برفض الاتفاقية. وكما ناقشنا فى الفصل الرابع، إن العثور على

أساس مقبول لجهد مشترك بين الأمم من أكبر التحديات فى مفاوضات تغير المناخ. فرضت اتفاقية كيوتو أهداف انبعاث قريبة المدى على الدول الصناعية فقط لأسباب عملية ومبدئية، لكنها فعلت ذلك فى خطوة أولى فقط. وفُهم على نطاق واسع أن مسئولية البلاد النامية فى المشاركة فى جهود التعديل ينبغى أن تنمو مع نمو اقتصادياتها وانبعاثها- السؤال متى وبأى قدر. وتبقى هذه النقطة الأكثر أهمية وأكثر إثارة للخلاف فى المفاوضات الحالية.

وصحيح أيضًا أن حدود الانبعاث التى نصت عليها الاتفاقية عشوائية، لأنها تسوية قائمة على مساومة بين أمم كانت تسعى إلى أهداف أكثر صرامة وأخرى تسعى إلى أهداف أضعف أو رفض أى هدف. وهى فى هذا تشبه كل النتائج التى يتم التفاوض بشأنها سياسيا: عشوائية اتفاقية كيوتوليست نقطة ضعف خاصة بها. والأهداف غير "مؤسسة على العلم"، لأن المعرفة العلمية لا يمكن أن تحدد هدفًا خاصًا. يمكن للعلم أن يوجه القرارات بشأن الأهداف، بتصور نتائج المسارات البديلة للانبعاث- تغير المناخ بشكل أسرع نتيجة ضعف ضوابط الانبعاث، تغير أبطأ من التغيرات القوية. ربما حتى يحدد العلم مسارات الانبعاث التى تحمل مخاطر زائدة لمفاجآت تغيرات المناخ، رغم أن ذلك يتطلب تقدما جوهريًّا عن المعرفة الحالية. لكن من دون عتبة بيئية معروفة بشكل يوثق فيه بأن الاتفاق التام ينبغى تجنبه، لا يوجد هدف للانبعاث "مؤسس على العلم" أكثر من أهداف أخرى أو أقل منها. يمكن لهذا الاتهام أن يوجه ضد أى هدف، لكنه أساسًا بلا معنى.

تغير الاتهام الثالث الموجه ضد أهداف الاتفاقية- أنها قوية جدا وضعيفة جدا- بمرور الزمن منذ تبنى الاتفاقية فى ١٩٩٧. فى ذلك الوقت، مع أكثر من عقد من إتاحة الوقت لتحقيق الأهداف، بدت طموحة وقابلة

للتحقيق. لكن بمرور السنوات دون جهود جادة للتعديل واستمرار الانبعاث في النمو، صارت الأهداف مكلفة باطراد وفي النهاية من المتعذر تحقيقها. في الوقت ذاته، ثبتت الأهداف الانبعاث فقط على مدى واحد قريب، فترة خمس سنوات، بينما يتطلب الاستقرار أن ينخفض الانبعاث بحدة على مدار عقود عديدة. وهكذا كانت الأهداف أضعف من تؤدي إلى استقرار تغير المناخ، لأن الهدف منها لم يكن حلا شاملا، بل خطوة أولى يجب تقويتها بمرور الوقت. بهذه الصورة تعمل المعاهدات البيئية الفعالة.

تتجاوز الأحداث الآن هذه الهجمات على كيوتو، والمفاوضات تعمل باتجاه اتفاق جديد بشأن المناخ. لكنها تبقى مناسبة لأن انتقادات مماثلة يمكن، ومن المرجح، أن توجه ضد أي اتفاق في المستقبل يتضمن أهدافًا تتعلق بالانبعاث. سوف تعكس مرة أخرى بنود الاتفاق القادم بشأن المناخ المساومة السياسية بين ممثلين يتبنون آراء مختلفة عن حجم التعديل الذي يبرره الدليل. وبالتالي، تكون عشوائية مرة أخرى، وسياسية، وغير مؤسسة على العلم، بالضبط مثل أهداف كيوتو. وبشكل مماثل، يكون الاتفاق القادم بشأن المناخ مرة أخرى مجرد خطو تالية- على أمل أن تكون أكثر جدية- تفرض تكاليف على المدى القريب، لكن تبقى في ذاتها أضعف من أن تحدث استقرارًا في المناخ. وبالتالي، تكون معرضة للهجمات ذاتها التي وجهت لاتفاقية كيوتو: بتجاهل الطبيعة التطورية لأي اتفاق بيئي، والتعامل معه بوصفه الحل الوحيد الشامل وليس مجرد خطوة على مسار يدرك بشكل غير تام باتجاه التغيرات المطلوبة على نطاق كبير؛ ومقارنته بحل مثالي يتعذر تحقيقه حاليا، بدلا من الاختيارات البديلة المتاحة بشكل معقول. ستبقى هذه الهجمات البلاغية ويمكن توقعها، ولا يعني هذا أنها تتمتع بأفضلية.

سوف يكون التعديل باهظ التكاليف

ثمة مجموعة ثانية من المجادلات حول مقولة عدم القيام بفعل وهى أن جهدًا جادًّا للتعديل سوف يكون باهظ التكاليف ومدمِّرًا اقتصاديًّا. يستخدم بعض هذه المجادلات فرضيات متحيزة لتضخيم التكاليف الحالية، ولا تركز فرضيات أخرى إلا على تكاليف التعديل دون اعتبار للمنافع التى يجلبها التعديل بتجنب مخاطر تغير المناخ.

ناقشنا التقديرات الحالية لتكاليف التعديل فى الفصل الرابع. إن التعديل بالقدر المطلوب لاستقرار المناخ عند مستويات تتصف بحصافة معقولة مكلفًا، رغم أن معظم التحليلات توحى بأن التكاليف سوف تكون يسيرة- خسارة ١ أو ٢% من الناتج الاقتصادى فى المستقبل. والكثير من تكنولوجيات خفض الانبعاث متاحة أو قيد التطوير، تقدم قائمة كبيرة من الاحتمالات تمتد بسلاسة من الصغير والفورى إلى الكبير وطويل المدى. إن تنوع الخيارات التكنولوجية المتاحة حاسم فيما يتعلق بثقتنا فى أن تكون التكاليف يسيرة، لأن ذلك يعنى أن إمكانية التخفيضات الكبيرة لا تعتمد على تكنولوجيا واحدة. ومع ذلك لن تكون التكاليف موزعة بالتساوى عبر الاقتصاد: تهتم القطاعات التى يحتمل أن تتحمل تكاليف أعلى من التحول باتجاه طاقة آمنة للمناخ بتضخيم التكاليف للمجتمع عمومًا. لكن التكاليف المرتفعة على مستوى القطاعات تمثل مشكلة سياسية فى العثور على توزيع مقبول للتكاليف، وليست سببا لتجنب العمل تماما.

إن تكاليف التعديل أيضًا موضع شك كبير، كما توضح الدراسات التى لخصت فى الفصل الرابع. وبالتالى، من السهل توليد تقديرات للتكاليف أعلى

بكثير، على سبيل المثال، بوضع مجموعة محدودة من التكنولوجيات فى الاعتبار، أو بتركيز انتقائى على عيوب كل تكنولوجيا وأوجه قصورها (وخاصة التكنولوجيات التى لم تكتمل)، أو بتجاهل الابتكار، والاهتمام فقط بالتكنولوجيات التجارية اليوم. ومن السهل أيضا إنتاج تقديرات مرتفعة للتكلفة بافتراض سياسات تعديل مصممة بشكل سيئ. لكن بقدر ما تعتمد شكوك التكاليف على تفاصيل السياسة، فإن ذلك يقدم دليلا لكيفية تصميم سياسات جيدة. وبقدر ما يعتمد الشك بشأن التكاليف على الخصائص الاقتصادية والتكنولوجية المجهولة اليوم، يبدو الآن جزء ضئيل من المشهد فيما يتعلق بمزيد من التحسين لتوقعات التكاليف دون البدء فى بذل الجهد. يتطلب أى أمل لتحقيق التخفيضات المطلوبة البدء فورا رغم الشكوك التى يتعذر تجنبها، وبعد ذلك تكييف القرارات والسياسات ونحن نتعلم أكثر.

أخيرا، لا تُضمن أية تكلفة للتعديل إذا كان التعديل لا يجلب منافع. وبالتالى يستحيل أن نقدّر إن كان مستوى لجهد التعديل مكلفا جدًا دون أن نضع فى الاعتبار أيضا منافعه. هكذا ترتبط المقولات بأن تكاليف الحد من تغير المناخ كبيرة جدا بالمقولات بأن المنافع من وراء القيام بذلك صغيرة، أى المقولات عن شدة تغير المناخ والتأثيرات التى يمكن تجنبها بالتعديل. وهذه بدورها ترتبط بالمجادلات الأكثر شيوعا ضد القيام بفعل لمواجهة تغير المناخ، تلك المجادلات التى تنكر الأساس العلمى للمخاطر.

العودة إلى الإنكار العلمى: الهجوم على الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (*IPCC*)

من كل المجادلات التى أثيرت ضد القيام بعمل بشأن تغير المناخ، الهدف الأبرز علم المناخ، سواء إنكـــار نقـــاط خـــاصة من المعرفة العلمية

أو الهجوم على استقامة العلماء وعمليات التقييم العلمى التى توصل هذه المعرفة. لخص القسم ٣-٥ مقولات شائعة مقدمة فى ساحات السياسة تنكر نقاطًا معينة من معرفة علم المناخ، وبيَّن خطأها. ويفحص هذا القسم الاستراتيجية البلاغية ذات المستوى الأعلى التى تتلاءم معها هذه المقولات الخاصـــة، والهجمـــات على العلماء وهيئات التقييم العلمى التى تصاحبها بشكل مطرد.

تتبع المقولات الخاصة التى تنكر حقيقة تغير المناخ وخطورته بنية بلاغية من أربعة أجزاء، من شكل يسميه المحامون "جدل فى البديل". تعلن هذه المقولات فى المقام الأول أن تغير المناخ لا يحدث؛ والثانى، وحتى إذا كان يحدث فهو ناجم سبب طبيعى وليس عن سبب إنسانى؛ والثالث، وحتى إذا كان الإنسان سبب حدوثه، فإنه لن يتغير أكثر بكثير، لكنه سيكون محدودًا دون تدخل نتيجة لشكل ما من التغذية الرجعية السلبيـــة؛ والـــرابع، حتـــى لو كانت هذه التغيرات كبيرة، فسوف تكون فى حالة توازن ولن تكون ضارة بشكل خاص وربما حتى تكون مفيدة.

تكرر طرح مقولات مماثلة عن قضايا بيئية أخرى تنكر المعرفة العلمية بالبنية البلاغية نفسها، حينما أنتجت هذه القضايا مناظرات سياسية متنافسة. بشكل يحمل مفارقة، غالبا ما تصبح هذه المقولات أكثر بروزًا والمعرفة العلمية تقوى. ومثل الحملات السياسية السلبية، إساءة تقديم المعرفة العلمية فى المناظرات السياسية مسألة عالية المخاطر لكنها استراتيجية فعالة بشكل احتمالى متاحة للجانب الخاسر. تقدم طبقة الأوزون مرة أخرى توازيا قويا ودالا. فى أوائل تسعينيات القرن العشرين، والإجماع السياسى يتطور

لمواجهة المواد الكيميائية التى تستنفد الأوزون- مؤسسًا على اتفاق قوى- وإن يكن غير كامل- المعرفة العلمية بشأن مساهمتها فى استنفاد الأوزون، طوَر ردُ فعل معاد وقوى، انتشر على نطاق واسع فى المناظرات السياسية، العديد من الشكوك والخلافات العلمية الحقيقية المتبقية، مع مجموعة متنوعة من المقولات المثيرة للسخرية التى فنِّدت لفترة طويلة، فى محاولة لمقاومة الإجماع السياسى المتنامى. أكد المشاركون فى رد الفعل بشأن الأزون- بما فيهم أفراد يلعبون الآن الدور ذاتــه فـــى مناظـــرة المنـــاخ- أن الأوزون لا يتناقص، وأن أى نقص لوحظ هو نتيجة تذبذبات طبيعية، وأن الخسارة مستقبلا محدودة فى ذاتها، وأن تأثيرات فقد الأوزون ستكـــون متـــواضعة أو حتى مفيدة، وقد بالغ فيها المتشائمون والانتهازيون. وبشكل مماثل فى تغير المناخ، مع نمو الدليل على حقيقة تغير المناخ وخطورته بقوة، يرى معظم المواطنين وصناع السياسة أنه يجب ضمان استجابة جادة، واضطر من يستخدمون المقولات العلمية لمعارضة القيام بعمل إلى اللجوء باطراد إلى مقولات متحيزة ومضللة، أو مقولات زائفة تمامًا.

يستخدم المؤيدون هذه الحيل المتعلقة بتقـــديم مضلل للمعرفة العلمية، أو حجب المسائل الراسخة أو إنكارها، لأنها تؤثر غالبًا. تحظى المقولات التى تسمى "علمية" باحترام خاص فى المناظرات السياسية وتنجح غالبًا فى الإقناع، خاصة حين تدعم آراء سياسية سابقة للمستمعين أو يقدمها شخص يعتنق قيما سياسية مماثلة. ومن ثم فهى حوافز قوية لحشو المجادلات السياسية بمقولات علمية- مقولات جيدة إذا كنت تعتنقـــها، سيئـــة إذا كنت لا تعتنقها. بالإضافة إلى ذلك، خطر تكذيبك لصالح مقولات علمية ضعيفـــة

أو متحيزة أو مفندة صغير، لأن الدليل والمناظرة فى ساحات السياسة أكثر رخاوة مما فى الساحات العلمية. ونتيجة الاستخدام الواسع لهذه الحيل أن الكثير من المواطنين يؤمنون بأن النقاط الرئيسية فى علم المناخ مثيرة للخلاف وموضع شك إلى حد كبير، وهى فى الحقيقة معروفة بوضوح وموضع اتفاق قوى. فى الوقت ذاته، أعاق انحراف المناظرات السياسية إلى المجادلات العلمية الخادعة مناقشة المسائل الاقتصادية والسياسية، الإيجابية والمعيارية، التى ينبغى أن تجرى عليها مناظرة عامة أكثر قوة.

رغم أن اختفاء هذه الحيل غير محتمل، فإن تأثيرها يمكن أن يتقلص إذا قيّم المشاركون فى المناظرات السياسية هذه المقولات بشكل أكثر تشككا. إن تناول المقولات العلمية بتشكك فى المناظرات السياسية أداة ذات قيمة- بالنسبة للمقولات التى يُروّج لها بوصفها "مثيرة للتشكك" وبالنسبة للمقولات الأخرى- حتى لو كان الفحص الذى يعتمد على التشكك من قبل ممثلى السياسة لا يمكن أن يناظر القوة التى تُدقّق بها فى الجلسات العلمية. إن التشكك باتجاه المجادلة التى تتم مناصرتها فضيلة، ومما يدعو للسخرية أن الذين يقدمون مقولات علمية مشوهة عن تغير المناخ يسمون أنفسهم "متشككين"، حيث يعتمد نجاحهم على صناع السياسة والمواطنين وليس فحص مقولاتهم بدقة شديدة.

يعنى التشكك العملى فى مناظرة سياسية التساؤل حول أصل المقولة المطروحة والمفترض أنها علمية وحول أساسها. مَن المصدر أو ما المصدر، وهل هناك أسباب يمكن تأملها بوصفك خبيرا نزيها؟ ربما يكون الحصول على شهادات علمية مؤشرا جيدا للخبرة، اعتمادا على المجال. لكنه

ليس ضمانا للنزاهة. هل تتأسس المقولة على بحث منشور خضع لمراجعة الرفاق؟ إن المقولات التى تتأسس على أعمال علمية منشورة خضعت لمراجعة الرفاق أكثر مصداقية عمومًا- لكن ذلك لا يعنى أنها صحيحة دائما- بينما المقولات المقدمة بشكل حصرى أو بشكل أساسى فى مطبوعات منشورة بشكل ذاتى (على سبيل المثال، الدوريات غير العلمية، أو مطبوعات هيئات الدفاع، أو مقالات الرأى فى الصحف، أو سجلات الويب)- أقل مصداقية عادة، إلا إذا كانت تنقل نتائج من مصادر أخرى خضعت لمراجعة الرفاق. هل تم تأكيد المقولة بدراسات إضافية خضعت لمراجعة الرفاق وقبلت على نطاق واسع من المجموعة العلمية المناسبة؟ هل هناك آراء علمية معارضة؟ وإذا كان الحال كذلك، من يعتنقها- ما عدد الناس، أو ما مستوى الخبرة بالموضوع- وما الأسس لقول إن رأيا ما أو آخر صحيح؟ ينبغى لأطراف مناظرة سياسية طرح هذه الأسئلة، بالضبط كما يطرحها العلماء فى تقييم مقولة علمية. المقولات بأن بحثًا علميا واحدا خضع لمراجعة الرفاق يمثل معرفة مستقرة أو، بشكل أكثر تطرفا، تسقط فهمًا راسخا فى ذاتها، تضمن تشككا قويا. ويصح هذا أيضًا على أى مصدر يستخدم لغة انفعالية أو يلجأ إلى الهجمات الشخصية، أو يقول إنه لا حدود لليقين فى مقولاته أو مداها، أو لا يعلن الدليل الذى يضعف مقولته. وأخيرا، من المهم خاصة أن تتشكك فى أصدقائك، وفى المقولات التى يبدو أنها تدعم مبادئك أو مواقفك السياسية. إنك أكثر عرضة لخطر التضليل بالمقولات العلمية الخادعة أو الخطأ التى تتسق مع معتقداتك أو ميولك السياسية، بصرف النظر عن طبيعتها. لكن حقيقية العالم، وحقيقية المعرفة العلمية بشأنه، لا توضع فى القيم السياسية.

وبصرف النظر عن كيفية اتباع ممثلى السياسة لهذه النصيحة. لا يمكن تقييم المقولات العلمية فى المناظرات السياسية بالدقة التى تقيَّم بها فى جلسات علمية. وهذا هو السبب فى أن مناظرة سياسة المناخ تتطلب تقييمات علمية جديرة بالثقة، ناتجة عن عمليات ذات مصداقية وشرعية وبارزة، وتتمتع ببعض الحماية ضد الهجوم الحزبى. كما ناقشنا فى القسم ٢-٥. تلخص التقييمات وتؤلف وتقيم المعرفة العلمية لتسترشد بها القرارات أو المناظرات السياسية. تقدم *IPCC* التقييمات العلمية بالنسبة لتغير المناخ. لكن *IPCC* تخضع باطراد لهجوم من الممثلين أنفسهم الذى ينكرون النقاط الرئيسية للمعرفة العلمية بشأن تغير المناخ.

بمعنى أن أى شخص يود أن يحافظ على أساس علمي مفترض لرفض العمل بشأن المناخ عليه أن يهاجم تكامل *IPCC*، حيث أن عدم القيام بذلك يسلم بنقاط المعرفة العلمية التى تعزز الاهتمامات الحالية. والخطر الحقيقى للتحيز فى التقييمات العلمية لقضايا البيئة يبرر الفحص بوضوح. من الصعب معالجة تقييم لتحقيق معايير علمية مرتفعة وتقديم معلومات مفيدة للسياسة أيضا، ولم تنجح التقييمات دائمًا. بالإضافة إلى ذلك، يتمنى كثير من الممثلين أن يمارسوا تأثيرا سياسيا على تقييمات *IPCC* إذا استطاعوا. لكن الاتهامات ضد *IPCC* لم تثبت أمام الفحص.

أخذت هذه الاتهامات ثلاثة أشكال متميزة. قليل منها هاجم *IPCC* جملة، مدعيا أنها فى الحقيقة ليست هيئة علمية بل هيئة سياسية، متحيزة لتضخيم مخاطر تغير المناخ وإخماد الشك والمعارضة. حتى لحظة تفحص لعملية *IPCC* وتقاريرها توضح أن مثل هذه الهجمات الشاملة زائفة بوضوح.

جوهر تقييمات *IPCC* مراجعات علمية شاملة فى قضايا محددة تتعلق بتغير المناخ، يجرى كل منها فريق من عشرات الخبراء فى ذلك الموضوع من أمم متعددة ويراجعها عشرات آخرون. على ضوء عدد العلماء المشاركين واتساع آفاقهم ومكانتهم، والدقة والنظرة النقدية التى يراجعون بها الأدبيات العلمية، والشدة التى تراجع بها من قبل الرفاق- مع إتاحة كل المراجعات واستجابات المؤلفين منشورة- تقييمات *IPCC* تصريحات محددة لعلم المناخ الحالى، وتُستخدَم على نطاق واسع بوصفها مراجع علمية وتُقبل بوصفها جديرة بالثقة فعليا بواسطة كل ممثلى السياسة المنشغلين بالموضوع.

وكان الاتهام الثانى أكثر براعة وهو أنه بينما التقارير الأساسية الصادرة عن *IPCC* مراجعات علمية نزيهة، فإن التصريحات الملخصة- (وخاصة الملخص) المعدة لصناع السياسة، وهو ملخص قصير وغير تقنى يضع مسوداته ممثلون قوميون فى جلسة بكامل الأعضاء- يشوه التقرير الكامل بتضخيم المخاطر والتقليل من شأن الشكوك والشروط، حاقنا تحيزًا متشائمًا عن علم المناخ وموقفًا سياسيًّا نشطًا. يستحق هذا الاتهام مزيدًا من الفحص الجاد، حيث وُجدتْ حالات سابقة شوهت فيها ملخصاتُ التقييمات العلمية فى قضايا بيئية أخرى التقريرَ الرئيسى- رغم أن هذه الحالات السابقة شملت ملخصات قللت من شأن المخاطر البيئية ولم تبالغ فيها.

لكن هذا الاتهام ليس أفضل من الاتهام الأكثر شمولا فيما يعتنقه من تحيز سياسى ضد *IPCC* كلها. تخفى الملخصات دائما التفاصيل والشروط: تفعل ذلك، لأنها ملخصات. فى كتابة مسودات ملخصات *IPCC*، للمؤلفين العلميين الرئيسيين حق الفيتو فيما يتعلق بالتغيرات المقترحة، بدقة للحماية

من إدخال خطأ أو تحيز سياسى فى هذه المرحلة. وغير هذه الحماية، يضمن نطاق المشاركة فى العملية وشفافيتها أن أية محاولة لجعل نص الملخص متحيزًا لموقف جماعة يواجه بضغوط معارضة، ويُحدُّ بشدة بالطبيعة المفتوحة للتداولات. إعادة فحص ملخصات *IPCC* بشكل متكرر- بما فى ذلك مراجعة تقييمات ٢٠٠١ التى طلبتها بشكل خاص إدارة بوش من الأكاديمية القومية للعلوم، وجدت أنها تمثل بنزاهة التقرير الكامل، واضعة فى الاعتبار الحاجة إلى تلخيص تقارير من آلاف الصفحات فى بضع صفحات مكتوبة لجمهور غير متخصص.

الاتهام الأخير، الموجه ضد *IPCC* وعلماء المناخ بشكل أكثر عمومية، أنهم يضخمون الثقة والتشاؤم لتقديم اهتماماتهم الخاصة، أساسا لضمان مزيد من تمويل البحث. ذكرت فى البداية فى رواية على قائمة أفضل المبيعات- أى فى عمل قصصى- وكانت هذه التهمة حاضرة فيما بعد بوصفها حقيقة فى عدة مقالات مؤيدة وفى أعمدة الرأى فى الصحف، وبشكل أحدث بعد انتشار بضعة مقتطفات محيرة من أرشيف بريد إليكترونى سُرِق من وحدة بريطانية لأبحاث المناخ فى أواخر ٢٠٠٩. والتهمة مثيرة للسخرية لأسباب كثيرة، من أوضحها أنه إذا رغب علماء المناخ فى زيادة تمويل توقعاتهم بشكل فاسد، فهذه ليست طريقة فعالة لتحقيق ذلك. النتيجة السياسية الرئيسية للمعرفة العلمية الحالية بشأن مخاطر المناخ أن الجهود الجادة للحد من تغير المناخ والاستجابة له مبررة. لكن ماذا تعنى هذه الجهود للبحث العلمى؟ من المحتمل أن تتضمن الجهود زيادة كبيرة فى البحث فى تكنولوجيات طاقة آمنة للمناخ. وفى القطاعات المتأثرة بتأثيرات المناخ وطرق خفض تعرضها

لهذه التأثيرات. لكن فى عالم مقيد بميزانية، من المحتمل أن ذلك يعنى دعمًا أقل لأبحاث **المناخ** بدرجة أكبر- حتى لو كان هناك مبرر جيد للتوسع فى أبحاث فى علم المناخ. وبالتالى، حين يعلن علماء المناخ أن المعرفة الحالية تدعم جهود جادة للحد من مخاطر تغير المناخ، فهم يجادلون ضد اهتماماتهم المهنية. وينبغى أن يضفى هذا على نتائجهم مصداقية أكبر.

تقع كل هذه الهجمات على عملية التقييم العلمى فى أحد خطأين. الخطأ الأول أن تتخيل احتمال أن يتآمر علماء المناخ فى العالم للكذب بشأن ما يعرفون- بصرف النظر عما إذا كان دافعهم فرض ميولهم السياسية على العالم، أو تقديم اهتماماتهم الفاسدة، أو أن حكومات نشطة تجبرهم بشكل ما- علــى أن يبقى هــذا سرًا. حتى إذا أرادوا ذلك، فهناك أسباب عديدة تجعلهم لا يستطيعون ذلك. يزدهر العلم على التبادل الصريح للأفكار والمجادلات، ويكافئ من يأتون بأفكار جديدة مقنعة ومقولات مضادة- طالما خضعت لقواعد المجادلة النزيهة والدليل. العلماء المشاركون فى *IPCC* كثيرون، ومتنوعو القوميات والآراء السياسية، وأكثر معرفة واحترامًا بكثير من القليل من الهامشيين والانتهازيين الذين يختلقون اتهامات تحمل طابع المؤامرة. والقول بأن مثل تلك المجموعة يمكــن أن تكــون تحـــت تأثيـــر الإغـــواء أو الضلالات أو الخوف لدعم أخرق لمقولات علمية خطأ- وأنهم من ثم يمكن أن يحتفظوا بهذا السلوك الفاسد سرا- لا يحتمل.

الخطأ الثانى الأساسى هو الفشل فى فهم أهمية أن *IPCC* هيئة تقييم علمى، وليست هيئة علمية صرفة. تقع هيئات التقييم بين عالمى العلم والسياسة، ويجب أن تعالج التوترات الناجمة عن ذلك. تختلف مهمة توليف

المعرفة الحالية فى شكل خاضع لقواعد العلم ومفيد أيضا للسياسة عن كتابة مراجعة علمية وأكثر تحديا. اتبعت *IPCC* هذا التوازن من خلال عمليات تكون الحكومات مسئولة عنها اسميًا لكنها لا تمارس أى تأثير على التقييمات الكاملة، وهى مراجعات علمية تمامًا. عالجت تقييمات *IPCC*، مع كل التحديات التى تواجهها، هذه التوترات بفاعلية. حافظت مشاوراتها على مستوى مؤثر من الاستقلال عن التدخل السياسى، رغم البنية التنظيمية التى يمكن أن تهدد هذا الاستقلال. إلى حد أن التوليف الحقيقى للتصريحات عن حالة المعرفة العلمية بشأن تغير المناخ فى كل مكان يوجد فى تقييمات *IPCC*. إنها والتقييمات العلمية الأخرى التى تحقق نوعية مماثلة من المشاركة والمشاورات ومراجعة الرفاق، "المعيار الذهبى" بالثقة فى التصريحات العلمية المرتبطة بالسياسة، وليس أمام ممثلى السياسة أفضل من الاعتماد عليها.

فى الحقيقة، إذا حدث أى تحيز فى عملية *IPCC*، فمن المحتمل أن ينشأ عن النزعة المحافظة العامة لدى العلماء فى تقييم المقولات الجديدة، ومن ثم يحدث فى الاتجاه المضاد لما تزعمه هذه الانتقادات. ومن الناحية الأخرى، تمنح هذه النزعة المحافظة سلطة هائلة وكاسحة لاستنتاجات التقييمات. وربما تكون مسئولة عن الطريقة الوحيدة التى ربما تقصر بها *IPCC* فى مسئولياتها: من خلال قدر كبير من الحذر العلمى، ربما لا تتحدث بوضوح كاف فى قضايا ذات أهمية سياسية كبيرة لم يتم حلها علميا بشكل تام. كانت أخطر الخلافات حول التقييم الرابع من هذا النوع: إغفال احتمال انهيار ألواح الجليد من توقعات ارتفاع مستوى البحر، وإغفال سيناريوهات الانبعاث الأعلى من ملخص الرسوم البيانية عن توقعات تغير المناخ فى المستقبل.

إنكار نقاط خاصة فى المعرفة العلمية والهجوم على تكامل تقييمات علمية حيلتان فجّتان وخطرتان نسبيا. سعى أحيانا المعارضون المحنكون للقيام بعمل بدلا من ذلك لتصوير أن مجادلاتهم "علمية" دون تقديم أية مقولة علمية خاصة يمكن تفنيدها. ثمة طريقة قوية للقيام بذلك وتتمثل فى الإشارة إلى الشك فى علم المناخ عمومًا، بدلا من الاعتماد على نقطة معينة. وكان ذلك شائعًا فى حيل المناظرة فى كثير من قضايا البيئة، وصار بارزًا خاصة منذ انتخابات ٢٠٠٤ فى الولايات المتحدة، حين نصحت مذكرة سياسية تم تسريبها المرشحين الجمهوريين بشأن كيفية التعامل مع تغير المناخ. قدمت المذكرة تصريحًا مباشرا بشكل مذهل عن هذه الاستراتيجية وأهدافها.

"تبقى المناظرة العلمية مفتوحة. يعتقد المصوتون أنه لا يوجد إجماع فى المجتمع العلمى حول ارتفاع حرارة العالم. وعلى الجماهير أن تؤمن بأن القضايا العلمية مستقرة، وأن آراءها حول ارتفاع حرارة العالم تتغير طبقا لذلك. ومن ثم، تحتاجون إلى الاستمرار فى جعل الافتقار إلى اليقين العلمى قضية أساسية فى المناظرة... تنتهى المناظرة العلمية [أمامنا] لكنها لم تغلق بعد. لا تزال هناك نافذة لفرصة تحدى العلم."(١)

أثارت المجادلة ثلاث نقاط. الأولى: توجد شكوك كبيرة فى المعرفة العلمية حول تغير المناخ وتأثيرات الإنسان عليه. الثانية: وبتأمل هذه الشكوك الهائلة، سيكون القيام بأعمال مكلفة للحد من الانبعاث ونحن لا نعرف ما إن

(1)J. Lee, "A call for softer, greener language," *New York Times*, March 2, 2003, p.1. The complete memo is posted by Environmental Working Group, at http://www.ewg.org.

كانت مبررة، مسألة تفتقر إلى الشعور بالمسئولية. الثالثة: علينا بدلا من ذلك السعى إلى خفض الشكوك بمزيد من البحث قبل أن نجعل التراجع عن هذه التعهدات مستحيلا.

المقولة الأولى: هناك شك هائل فى المعرفة العلمية الحالية حول تغير المناخ، صحيحة. حين أعلن الرئيس بوش أن الولايات المتحدة لن تصدق على اتفاقية كيوتو صرح قائلا: "لا نعرف مدى ما قد يكون لتأثير التذبذبات الطبيعية على ارتفاع الحرارة. لا نعرف بأى قدر يمكن لمناخنا أن يتغير، أو بأى قدر يتغير، فى المستقبل. لا نعرف بأية سرعة يحدث التغير، أو حتى كيف يمكن أن تؤثر بعض أفعالنا عليه... وأخيرًا، لا يمكن لأحد أن يعرف بأى قدر من اليقين ما يمثل مستوى خطيرًا فى ارتفاع الحرارة ومن ثم المستوى الذى ينبغى تجنبه."[1] كانت هذه التصريحات صحيحة تماما حين أعلنها فى ٢٠٠١، وتبقى صحيحة اليوم.

لكن وصف هذا الشك بأنه هائل، أو الإيحاء بأنه لا يوجد شيء ذو أهمية نعرفه عن تغير المناخ، خطأ ببساطة. كما ناقشنا فى الفصل الثالث، هناك نقاط كثيرة فى علم المناخ تتقدم فيها المعرفة تمامًا، وعدة نقاط أساسية- مثل إن كانت حرارة المناخ ترتفع، وإن كانت أنشطة الإنسان مسئولة أساسًا، وإن كان من المحتمل أن تستمر الحرارة فى الارتفاع- راسخة بما لا يدع مجالا للشك. لا نعرف كل شيء- وهو ما يعنى أنه لن يكون هناك شك- لكننا نعرف الكثير.

---

(1) -- Remarks by President G.W. Bush, White House Rose Garden Briefing, June 11, 2001.

بالإضافة إلى ذلك، النقطة الأساسية فى هذه المجادلة- يتطلب تبرير الفعل استبعاد الشك العلمى، أو على الأقل تحقيق مستوى أعلى من الثقة والدقة بشأن مستقبل المناخ وتأثيراته مما تقدمه المعرفة الحالية- ليست مجادلة علمية إطلاقًا، بل حكما معياريا بشأن متى تكون الجهود المكلفة مبررة لتجنب خطر غير مؤكد. تفترض المجادلة أن الوضع الراهن، عدم القيام بأى عمل، ينبغى أن يستمر حتى يتبين أن من الأفضل القيام بعمل. بالإضافة إلى ذلك، بذكر "الشك العلمى" بوصفه سببًا لعدم القيام بعمل، تفتـــرض المجـــادلة أن المعيار المطلوب للتوضيح استبعاد الشك بشكل تام أو شبه تام.

تعتمد هذه المجادلة على تماثل، يعلن صراحة أحيانًا لكنه كثيرًا ما يعلن ضمنيا، مع مجالات القرارات الأخرى حين نتطلب معيارًا مرتفعًا من الأدلة لتبرير قرار معين. أبرز مثالين لهذا التماثل هما القانون الجنائى والبحث العلمى. تتطلب قواعد المحاكمات الجنائية أن المتهم يعتبر بريئًا حتى يتبين الادعاء أنه مذنب "دون شك معقول." فى البحث العلمى، كما ناقشنا فى الفصل الثانى، حين تدعى نتيجة جديدة ما يناقض المعرفة الحالية، لا تقبل حتى يتبين أنها ذات معيار عال من الإقناع ويمكن التحقق منها بتكرارها مرات عديدة بشكل مستقل.

فى هاتين الحالتين، يتأسس طلب معيار مرتفع من الأدلة على حكم معيارى للخطورة النسبية للنوعين المحتملين من الخطأ. فى أى قرار فى ظل الشك هناك خطر لا يمكن تجنبه فى القيام بالاختيار الخطأ، لكن الأخطاء يمكن أن تحدث بأكثر من طريقة. يمكن أن يكون الحكم الجنائى خطأ بإدانة

متهم بريء، أو بتبرئة شخص مذنب؛ يمكن أن يكون الحكم العلمى خطأ بقبول مقولة جديدة يتبين أنها خطأ، أو رفض قبول مقولة يتبين أنها صحيحة. تتطلب المحاكمات الجنائية ذنبا يتبين أنه لا يعتريه شك معقول، ومن هنا يأتى تحيز القرار لصالح المتهم، لأن المجتمع حكم لفترة طويلة أن إدانة متهم بريء أسوأ من تبرئة متهم مذنب. فى العلم، تعكس الحاجة إلى أن تكون المقولات الجديدة محققة بشكل قوى توازنا مماثلا لتكلفة الخطأين المحتملين. قبول مقولة جديدة غير صحيحة مكلفٌ جدًا، لأنها يمكن أن تربك الأبحاث التالية وتوجهها خطأ، وتلقى بالشك على الكيان المتراكم للمعرفة السابقة. لكن الفشل فى قبول مقولة جديدة صحيحة أقل تكلفة، لأن هذا الرفض مؤقت دائما. المقولة الصحيحة التى لا تقبل فى البداية تجمع عادة أدلة إضافية تدعمها حتى تلبى معيار القبول، ومن ثم فإن تكلفة هذا المعيار المرتفع تتمثل فقط فى تأجيل قبول المقولة حتى تتوفر أدلة أكثر.

فى هذين المجالين، النقطة الحاسمة أن قواعد القرار تُختار عمدًا، معتمدة على أحكام معيارية بشأن أى خطأ أسوأ. كلما حكمنا بأن الخطأ أسوأ حاولنا أن نجعل ذلك الخطأ غير محتمل بتحيز عملية اتخاذ القرار ضده. ونحن نفعل ذلك، نقبل برغبتنا خطأ أكبر بارتكاب الخطأ الآخر، لأننا نحكم عليه بأنه أقل سوءا.

فى مناطق القرارات الأخرى نستخدم أشكالا مختلفة من التحيز، تعكس أحكامًا مختلفة لمدى سوء أن نخطئ فى كل اتجاه. فى القانون المدنى- دعاوى قضائية خاصة لا يتمثل الخطر فيها إلا بغرامات أو قيود مالية، ولا تتعرض فيها الحياة أو الحرية للخطر- لا يوجد أساس واضح للحكم بأن

من الأسوأ أن نخطئ بطريقة أو أخرى (لصالح المدّعى أو المتهم). وهكذا فإن الدعاوى المدنية تقرّر دون تحيز، على أساس "رجحان الأدلة." سياسة الأمن القومى فى الولايات المتحدة والأمم الأخرى دعمت غالبا الأفعال بالغة التكاليف بصورة متطرفة للدفاع ضد حتى التهديدات غير المحتملة. لأن تكلفة عدم الاستعداد لمواجهة التهديد الذى لم يتجسد يُحكَم بأنها شديدة جدًّا.

يمكن أن تتحيز عمليات اتخاذ القرار مع عمل أو ضده فى أية منطقة سياسية: أحيانًا يستعين نشطون فى مجال البيئة بالمجادلات نفسها لتحيز مؤيد لعمل كما يُقدَّم بشكل شائع فى الأمن القومى. لكن هذا ليس اختيارًا علميًّا، بل حكما بشأن أى الأخطاء نهتم بتجنبها أكثر. تتأسس المجادلة ضد القيام بعمل يتعلق بالمناخ على شك عام يقترح تحيزًا متطرفًا ضد القيام بعمل: عدم القيام بأى شىء حتى نعرف أنه ضرورى لتجنب تأثيرات خطيرة لتغير المناخ. بوضوح، تحمل هذه المقاربة خطرًا مرتفعًا إذا لم نعمل مـــا يكفى، أو بالسرعة الكافية، لأن مستوى الثقة المطلوبة لتبرير الفعل ربما لا يمكن الوصول إليه حتى تكون التأثيرات الشديدة قد حدثت بالفعل أو يكون تجنبها مستحيلا. يمكن أن يبقى هذا هو المسار الصحيح، لكن فقط إذا حكمنا بأن من الأسوأ بكثير أن نعمل بقوة كبيرة من ألا نعمل بقوة كافية- أى أن تكاليف التعديل الكبير جدًّا أسوأ بكثير من تأثيرات التغير الشديد جدا فى المناخ.

لكن كما لخصنا فى الفصل الرابع، لا يوجد أساس للاعتقاد بأن هذا صحيح. فى الحقيقة، يبدو الوضع العكسى أكثر احتمالا. لتوضيح هذا، تأمل الطرفين. الأول، افترضْ أن تغير المناخ وتأثيراته يتبين أنها تقع فى قاع مجال الشك الحالى أو تحته: بتعبير آخر، افترضْ أننا محظوظون بشأن تغير

المناخ بقدر ما نستطيع ظاهريا. فى هذه الحالة، سيفرض برنامج كبير للتعديل تكاليف غير ضرورية، ربما بين بضعة أعشار فى المائة وعدة أرقام صحيحة فى المائة خسارة من الناتج المحلى الإجمالى فى المستقبل، اعتمادا على حجم البرنامج- رغم أنه حيث أن التكلفة ستكون ممتدة على مدار قرن، حتى فى هذه الحالة يمكن تجنب الكثير من التكاليف بتقليص الجهود المستقبلية بمجرد أن نعرف أنها غير ضرورية. لكن فى الطرف المضاد- أى حين نكون غير محظوظين ويقع تغير المناخ وتأثيراته عند قمة مجال الشك الحالى أو فوقه- ثم لا نتبع تعديلا كبيرا يفرض تكاليف وأخطارا أكبر بكثير من هذه التكاليف المتواضعة نسبيا للتحكم الزائد، بما فى ذلك الاحتمال المتزايد لحدوث تغيرات فجائية أو كارثية.

مع وجود مخاطر موضع شك على الجانبين، تتطلب استجابة حكيمة للمناخ معالجة التكاليف والأخطار بشكل متناسق، والموازنة بين مخاطر أن نفعل الكثير جدا وأن نفعل القليل جدا. فى هذا، يشبه تغير المناخ القضايا السياسية الأخرى فيما يتعلق بالمخاطر العالية التى تتطلب القيام بفعل فى ظل الشك، بما فى ذلك الاستجابة للتهديدات الأمنية من قبيل قوى أجنبية معادية أو الإرهاب، ووضع سياسة اقتصادية، ومعالجة كل أنواع أخطار الحياة والصحة والأمان. فى المناخ، كما فى كل تلك المجالات، لا يعنى مجرد وجود الشك أن الاستجابة الصحيحة هى عدم القيام بأى فعل حتى يفرضه دليل قاطع، أكثر من أن اللمحة الأولى لخطر بعيد تعنى أن الاستجابة الصحيحة هى أقصى جهد ممكن، بصرف النظر عن التكلفة. فى الواقع، يجب المقارنة بين الأخطار والتكاليف والمنافع على الجانبين- تلك الناجمة عن القيام بالكثير جدا، وسريعا جدا، وتلك الناجمة عن القيام بالقليل جدا،

ومتأخرا جدا- والموازنة بينها. فى تقييم هذا التوازن بالنسبة لتغير المناخ، وجدت كل التحليلات الجادة أن القيام بتعديل مبكر له ما يبرره: ولا تختلف إلا فى حجم العمل الذىْ تراه مثاليا وسرعته، وحتى فى هذا الاختلافات بينها صغيرة بشكل يدعو للدهشة.

٥-٣ وهكذا ماذا ينبغى أن نفعل؟ توصيات لاستجابة فعالة

نرى أن المعرفة والأدلة الحالة عن مخاطر تغير المناخ كافية لتبرير فعل قوى، يبدأ فورا، رغم الشكوك التى تبقى فى كل أوجه قضية المناخ. إذا تأملنا خطر الأضرار الخطيرة التى تعكس ببطء، فسيكون عملا غير مسئول أن ننتظر معرفة دقيقة عن شكل مخاطر تغير المناخ وحجمها قبل أن نقدم على فعل للحيلولة دون وقوعها. المجادلات التى تُقدَّم الآن ضد القيام بعمل مهم على المدى القريب، كما لخصناها من قبل، خطأ، أو مضلِّلة، أو- بقدر صحتها- لا تبرر مزيدا من التأجيل.

لكن أى فعل؟ حتى قبول الحاجة إلى عمل، هناك شك كبير وعدم اتفاق بشأن ما ينبغى القيام به بصورة خاصة. كما ناقشنا فى الفصل الرابع، يتطلب تصميم السياسات التى تحد من تغير المناخ بفاعلية، وتحد من التكاليف، وممكنة سياسيا وقابلة للاستمرار، اختيارات متعددة موضع صراع وشك. كيف يتحدد موضع الجهد بين السياسات التى تستهدف الانبعاث مباشرة، وتلك التى تشجع الابتكارات لتسهيل تخفيض الانبعاث فى المستقبل؟ بالنسبة للسياسات التى تستهدف الانبعاث مباشرة، ما الاختيار الأفضل ضمن الإجراءات التقليدية، ضرائب الانبعاث، أم نظم الذروة والتجارة، أم الجمع

بينها- فى السلطات الدول مفردة وعبر الحدود؟ كيف يمكن بناء الثقة فى تحقيق السياسات والتعهدات، خاصة بين دول متعددة مختلفة القدرات والثقافات؟ ما المؤسسات والعمليات المطلوبة لتقييم السياسات وتكييفها عبر الزمن، استجابة للمعرفة الجديدة والظروف والقدرات المتغيرة؟ وأخيرا، كيف يمكن المشاركة فى الجهود والأعباء المطلوبة، بين الأمم وعلى مر الزمن؟ تتطلب هذه الأمور قرارات، صريحة أو ضمنية، لنتخطى الورطة الحالية.

لا ندعى إجابات قاطعة أو حلولا سحرية لهذا المشاكل. لكن المعرفة الحالية تقدم أساسًا معقولا لاعتبار بعض الاختيارات واعدة أكثر من غيرها. فى هذا القسم الختامى، نعرض مجموعة توصيات لأعمال واعدة فى رأينا أكثر من غيرها. رغم أن التكيف والعناصر الأخرى سوف تكون مكونات أساسية لاستجابة متكاملة للمناخ، تركز توصياتنا على مبادرات التعديل- المتفقة مع المناظرة السياسية الحالية، وحكمنا بشأن الموضع الذى تكمن فيه أولويات الفعل الأكثر إلحاحًا.

ينبغى لاستراتيجية كاملة للتعديل أن تحتوى على أربعة عناصر: الأهداف لتحديد نطاق الوسط المطلوب للتغيرات على المدى الطويل؛ والأفعال على المدى القريب التى تخطو الخطوات الأولى باتجاه هذه الأهداف؛ واستراتيجية سياسية لبناء المشاركة المطلوبة عبر الزمن، من الخطوات الأولى إلى الاكتمال؛ وعمليات لتقييم الأهداف والأفعال وتكييفها فى ضوء المعرفة المتغيرة والخبرة والقدرات. هذه العناصر ليست منفصلة تماما فى التنفيذ، ولا تحتاج إلى إقرارها بترتيب معين، لكنها تقدم تقسيما مفيدًا. نطرح توصياتنا لكل عنصر بدوره.

٥-٣-١ الوسط والأهداف على المدى الطويل

يتطلب الحد من تغير المناخ تحويل نظام الطاقة فى العالم للاعتماد على تكنولوجيات الطاقة الآمنة للمناخ. مثل هذا المسعى الهائل الذى يحتاج إلى عدة عقود من الصعب الاستمرار فيه أو حتى فهمه دون تحديد هدف. ضمّن المتفاوضون فى الاتفاقية الإطارية، مدركين هذا، هدفاً صريحا فى المادة ٢: استقرار تركيز غازات البيوت الزجاجية "عند مستوى يمنع التدخل البشرى الخطير فى نظام المناخ." إنه هدف رائع، حظى باتفاق عالمى تقريبا حين أعلن بهذا المستوى من التجريد. لكن ليس هناك خط واضح يحدد التدخل الخطير فى نظام المناخ، نتيجة للشك العلمى حول تأثيرات المستويات المختلفة من التركيز، والاختلاف المعيارى حول التأثيرات المقبولة والجهود التى تستحق البذل لتجنبها. جزئيا نتيجة لهذه الصعوبات المتعلقة بالتصور وجزئيا نتيجة الصراع السياسى، لم تنجح المفاوضات التالية فى جعل هذا الهدف إجرائيا أكثر حتى هدف ٢ درجة مئوية فى اتفاقية كوبنهاجن، ويبقى تأثيره موضع شك.

ومع ذلك حدث، خارج المفاوضات الدولية، تقدم كبير فى بناء الدعم لأهداف حذرة بشكل معقول تتعلق بالحد من تغير المناخ. كما ناقشنا فى الفصل الرابع، اشتملت الأهداف المقترحة على الحد من ارتفاع الحرارة إلى ٢-٣ درجات مئوية أعلى من درجات الحرارة فيما قبل الصناعة، أو قيود مرتبطة بها على القـوة الإشعاعية (على سبيل المثال، ٢,٥-٤,٥ وات/م٢) أو مستويات تركيز غازات البيوت الزجاجية (على سبيل المثال، ٥٥٠ جزء فى المليون مكافئ $CO2$)، مع اقتراحات حديثة بأن الأهداف ينبغى أن تكون

أقل حتى ١,٥ درجة مئوية أو ٢,٣ وات أو ٣٥٠ جزء فى المليون على سبيل المثال. تتضمن هذه الأهداف بدورها مجالا من مسارات الانبعاث، مع انبعاث عالمى يصل إلى الذروة خلال عقد أو اثنين ثم ينحدر خلال بقية القرن. على سبيل المثال، وضحت سيناريوهات *IPCC* أن استقرارًا عند ٤٥٠-٥٠٠ جزء فى المليون مكافئ *CO2* يتطلب انخفاض الانبعاث ٥٠-٨٠% عن مستويات سنة ٢٠٠٠ بحلول سنة ٢٠٥٠. سواء تم التعبير عنها بوصفها ارتفاعا فى الحرارة أو القوة أو التركيز، تحمل أكثر هذه الأهداف صرامة تخفيضًا لمخاطر تغير المناخ لكنها تتطلب تخفيضات أكثر حدة فى الانبعاث بشكل أسرع- مما يعنى تكاليف وجهودًا أعظم. فى رأينا، يبدو أن الطرف الأدنى لهذه الأهداف، حول ٤٥٠ جزء فى المليون مكافئ *CO2*، يعكس التوازن الأكثر حكمة لتكاليف التعديل وتأثيرات المناخ المشكوك فيهما. مثل هذا الهدف الطموح بصورة بشكل لا يمكن إنكارها يمكن أيضا أن يبقى على خيار التحول حتى لحدود أكثر صرامة فى تغير المناخ، فى حالة ارتفاع الاحتمالات السيئة فى انتشار حساسية المناخ، ينبغى إدراك التغذية الرجعية أو التأثيرات طويلة المدى.

اقترح على نطاق واسع محللون مستقلون ومنظمات مستقلة أهدافًا مماثلة، وصادق عليها باطراد ممثلون سياسيون قوميون فى بلاد متعددة. وتم التعبير عن هذه الأهداف بمصطلحات عالمية، مع ذلك، ومن ثم يتطلب اشتقاق أهداف لبلاد أو مناطق معينة فرضيات إضافية بشأن توزيع الجهود. على سبيل المثال، هدف تخفيض انبعاث الولايات المتحدة ٨٠% تقريبا عن مستويات ١٩٩٠ بحلول ٢٠٥٠- مماثل للأهداف التى أعلنت فى حملة أوباما

والمقترحات التشريعية الحالية- متسق مع استقرار مستويات التركيز عند ٤٥٠ جزء فى المليون مكافئ CO_2، فى ظل فرضيات المشاركة النسبية للأعباء بين الدول الصناعية والتبنى التدريجى لتعهدات التعديل من قبل البلاد النامية فى الأعوام العشرين القادمة.

يمكن لوضع أهداف صريحة تقديم منافع عديدة لاستراتيجية المناخ. يمكن للأهداف الصعبة القابلة للتنفيذ أن تحفز القيام بعمل، وتركز الانتباه، وتقدم سياقًا لتقييم التدابير قريبة المدى واختيارها، حتى لو كانت العلاقة بين التدابير قريبة المدى والأهداف بعيدة المدى موضع شك. يمكن أيضا للأهداف الصريحة أن تقدم أساسا لمحاسبة صانعى القرار. لكن مناقشات أهداف المناخ تعقدت بالفشل فى التعرف على الفروق المهمة التى تظهر حين تكون إمكانية تحقيق الهدف والجهود المطلوبة للوفاء به موضع شك. يمكن أن تكون الأهداف الصعبة القابلة للتنفيذ محفزات قوية، لكنها إذا كانت صعبة حقًا لن يتم الوفاء بها غالبًا. تستخدم هذه الأهداف غالبا فى مواقف أخرى، على سبيل المثال، تطوير الألعاب الرياضية أو التكنولوجيا، لكنها نادرة فى السياسة أو المواقف السياسية، حيث تعلن الأهداف عادة لمحاسبة المسئولين. الأهداف من أجل المساءلة لا تعلن الطموحات بل توقعات خط الأساس: يتوقع أن يتم الوفاء بها، ويؤدى عدم الوفاء بها إلى نتائج سلبية- إن لم تكن عقوبات مادية، فستكون استهجانًا أو ارتباكًا، وهو ما تسعى الحكومات إلى تجنبه أيضًا. فى ظل الشك، ربما يرفض حتى الممثلون الذين تعهدوا بالحد من الانبعاث الأهداف الطموحة إذا اعتبرت توقعات لا طموحات. وبالتالى، إذا استخدمت الأهداف للمساءلة أو كان هناك خطر يمكن أن تمثله (على سبيل

المثال، من نشطين يسعون بأثر رجعى لإعادة تعريف الطموحات بوصفها متطلبات)، يحتمل ألا يقبل الممثلون إلا الأهداف الضعيفة التى يثقون تمامًا فى أن بوسعهم تحقيقها.

مع تعرض التصريحات عن أهداف هذه المناورات، كان من الصعب على الهيئات السياسية أن تستخدمها بشكل فعال. فى رأينا، المنفعة من وراء إعلان الأهداف صراحة تفوق المخاطر. ينبغى أن تعلن الحكومات القومية والهيئات الأخرى صانعة القرارات الأهداف بالنسبة التعديل، ومن المفضل أن تكون فى صورة مسارات افتراضية للانبعاث تدمج التخفيضات على المدى القريب والمتوسط والطويل. رغم أنه ينبغى أن تكون هناك أيضًا إجراءات لتغيير المسار إذا ما بررت ذلك معرفة جديدة أو ظروف تغيرت، بالقول فقط إن مسارًا افتراضيًا يشكل توقعات المستثمرين والآخرين الذين يتخذون قرارات طويلة المدى، وهو أمر حاسم لتحقيق التغيرات المطلوبة.

يجب الوفاء بشروط عديدة، مع ذلك، لاستغلال القوة المحفزة للأهداف دون أن يُطلَب من الحكومات تحمل مخاطر غير متوقعة. ينبغى لتصريحات الأهداف أن تكون صريحة بشأن سياسات وأفعال خاصة مقترحة وتأثيراتها المفترضة على الانبعاث، متضمنة الشك. ينبغى أيضا لتصريحات الأهداف أن تعلن فرضيات صريحة بشأن الشروط الأخرى التى تؤثر على فعالية السياسات والأفعال، متضمنة جهود التعديل التى يبذلها آخرون. هذا الطلب مماثل لطلب إعلان الفرضيات الاقتصادية التى تؤسس توقعات ميزانية الحكومة على المدى البعيد. وقد يكون من المفيد أيضًا الإعلان أيضا على هدفين يختلفان فى الطموح وفى توقع التحقيق- توقع وطموح.

لكن بينما قيمة الأهداف بوصفها إشارة أو أدوات تحفيزية على المستوى القومى واضحة، فإن قيمتها فى المفاوضات الدولية أقل وضوحا. هنا يوجد خطر أكبر أن تصبح المفاوضات على الأهداف تشتيتا مثيرًا للنزاع عن القرارات الأكثر إلحاحا بشأن التدابير على المدى القريب، خاصة وأنه سيكون من الضرورى تعديل الأهداف بمرور الزمن. ربما التسوية المناسبة هى التفاوض بشأن الأهداف التى تعلن ببعض الالتباس، وهكذا تعكس فهمًا مشتركا وتقريبيًا بأنه ينبغى خفض الانبعاث كثيرا بحلول منتصف القرن. وليس من الضرورى أن تكون كل الأهداف القومية متماثلة. ويمكن أن نتوقع منها أن تقدم مؤشرات لمناظرة جارية، تعلن فيها أنشط الحكومات أهدافا قوية، وتعلن الحكومات الأخرى أهدافا أضعف. إذا نسقت ائتلافات غير رسمية فى أهداف مشتركة، وتدابير لمتابعتها، ودعم التحليل، رائع- لكن ليس على حساب المخاطرة بتأخير خطوات أولية ملموسة. الانتظار لاتفاق تام على الأهداف، مثل الانتظار لاستبعاد الشك العلمى، قد يعنى الانتظار طويلا جدا بحيث يتعذر تحقيق الأهداف المرغوبة. بينما ندعم الحوار المستمر بشأن الأهداف، فإن ذلك ينبغى أن يحدث بالتوازى مع المناقشات والقرارات بشأن أفعال ملموسة، تتقدم دون انتظار لاتفاق تام على الأهداف.

٥-٣-٢ الأفعال على المدى القريب

بصرف النظر عن الأهداف التى يتم تبنيها، لن يحدث تقدم باتجاه التخفيضات المطلوبة فى الانبعاث دون أن يخطو شخص الخطوات الأولى.

ماذا ينبغى أن تكون هذه الخطوات، ومن ينبغى أن يخطوها؟ فى هذا، نقترح نقلة كبيرة عن الممارسة الحديثة. حيث إن المناظرات السياسية بشأن المناخ بدأت فى أوائل تسعينيات القرن العشرين، فقد افترض على نطاق واسع أن الموضع الأولى للفعل هو المفاوضات الدولية، التى تحفز السياسات القومية وتمكنها وتنسقها. عكست هذه المقاربة معرفة أن المشكلة تتطلب حلا عالميًا، واهتمامًا بأنه إذا عملت الأمم منفصلة، فإن من يفعلون أكثر سيرون أن جهودهم تُحبَط بخسارة التنافس وتسرب الانبعاث.

لكن سواء بُرِّرت هذه الاهتمامات أو لم تُبرَّرْ- وتوحى الدراسات الحديثة بأنها كانت مبالغا فيها- فإن هذه المقاربة لم تحقق فعليا أى تقدم فى خفض الانبعاث. فى رأينا أن القيادة الزائدة خلال الأفعال القومية تحمل وعدًا أكبر بكسر الورطة الحالية. ينبغى أن تكون السياسات الفعالة للتعديل منسقة عالميا لتكون فعالة- فى النهاية- لكن المشاركة والتنسيق العالميين الكاملين ليسا مطلوبين فى البداية، والانتظار لتحقيقهما ربما لا يؤدى إلا إلى تأخير الخطوات الأولى المطلوبة.

وبالتالى نقترح أن الأولوية الأولى ينبغى أن تكون إعلان الولايات المتحدة عن استراتيجية متماسكة وفعالة للتعديل، تناظر أو تتجاوز قيادة المناخ التى مارسها الاتحاد الأوروبى إلى حد بعيد، وأن تثب قفزة البداية للسعى إلى موافقات دولية جادة وعلى قاعدة عريضة. وستكون مبادرات الاقتصاديات الصناعية الأخرى الكبيرة للإعلان عن استراتيجيات مماثلة موضع ترحيب. لكن التطور الأولى وإعلان استراتيجية للولايات المتحدة ينبغى ألا ينتظر التنسيق مع الآخرين.

ينبغى لهذه الاستراتيجية الخاصة بالتعديل أن تتبع المبادئ والبنية الموضحة فى الفصل الرابع. ينبغى أن تشجع الاستثمار الخاص وتطور تكنولوجيا موارد الطاقة الآمنة للمناخ بوضع حوافز واضحة ومتسقة. وينبغى أن يكون تركيزها على المدى الطويل، وتبدأ فورًا بهدوء، وتزيد من صرامة السياسات بمرور الزمن، لتقدم الحوافز المطلوبة والمستدامة والشفافة للاستثمارات والابتكارات طويلة المدى، وتحد من التكاليف، وتقدم استقرارًا لخطط الاستثمار. وينبغى أن تسعى إلى خفض التكاليف إلى أدنى حد بالسماح بالمرونة فى إنجاز ممثلى القطاع الخاص، وتسخير قوى السوق إلى أقصى حد يتسق مع سياسة فعالة. ستواجه هذه المبادرة تحديات سياسية نزيهة، لكنها متسقة مع النوايا المعلنة لكل من إدارة أوباما والقادة الكبار فى الكونجرس. والمبادرة التى نقترحها، فى تفاصيلها، أقوى بقليل من مشاريع القوانين التى تتحرك فى الكونجرس فى ٢٠١٠.

ينبغى أن تتضمن آليات هذه الاستراتيجية القومية للتعديل العناصر الثلاثة التى ناقشناها فى الفصل الرابع: على صعيد الاقتصاد، السياسات المؤسسة على السوق لوضع أسعار على الانبعاث؛ ودعم أبحاث الطاقة الآمنة للمناخ وتطويرها؛ والإجراءات والتدابير الأخرى الملائمة- إضافة إلى المؤسسات والآليات لدعم هذه التدابير وتكييفها بمرور الزمن فى ضوء المعرفة الجديدة والخبرة والقدرات. على صعيد الاقتصاد، تمثل السياسات المؤسسة على السوق العنصر المركزى. إنها تقوم بالعمل الرئيسى لخلق حوافز للاستثمار وتطوير التكنولوجيا، بالإشارة إلى أن انبعاث غازات

البيوت الزجاجية تكبر تكلفته باطراد عبر حياة الاستثمارات الحالية. وينبغى أن تنتشر بقدر ما يمكن باتساق وشفافية عبر الاقتصاد. وينبغى أن تبدأ تدريجيا لتجنب الارتباك، وتظهر باتساق متبعة جدولا معلنا بوضوح لزيادة امتداد الصرامة لعدة عقود على الأقل.

الخياران الرئيسيان لسياسة تفرض هذه الأسعار للانبعاث هما ضريبة الكربون، وينبغى أن تضع سعر الانبعاث صراحة، أو نظام الذروة والتجارة، وفى ظله يوضع سعر الانبعاث ببيع التصاريح. وكما ناقشنا فى الفصل الرابع، يعتقد الآن على نطاق واسع أن الضرائب أفضل وتحمل مخاطر أقل، لكن كل الزخم السياسى تقريبا، فى الولايات المتحدة وأماكن أخرى، يفضل نظم الذروة والتجارة. إذا كانت هناك فرصة للاختيار بينهما، على المرء أن يوازن المخاطر المعروفة لنظم الذروة والتجارة مقابل المعوقات السياسية الكبيرة لضرائب الكربون، متسائلا عما إذا كان من الممكن جعل ضريبة الكربون ممكنة سياسيا ومدى الضعف الذى قد ينتج عنها. ومع ذلك، إذا وضعنا الزخم الحالى فى الاعتبار، يبدو أن المسار المفضل هو تصميم نظام للذروة والتجارة يكون فعالا إلى أقصى حد، وكفؤا وشفافا، ويتجنب المخاطر المعروفة قدر المستطاع- ومتابعة تحقيقه وفاعليته بدقة، وعلى استعداد لتغيير مساره إذا لزم الأمر.

بالنسبة للولايات المتحدة، ربما تبدأ ذروة مناسبة بتخفيض ٥-١٠% عن المسار المتوقع للانبعاث فى خلال ٣-٥ سنوات، مع جدول للتخفيض يعلن مسبقا باتجاه هدف مستقبلى صارم، على سبيل المثال، تخفيض ٨٠%

بحلول ٢٠٥٠. ربما يبدأ السعر المكافئ للانبعاث حول ٣٥-٧٠ دولارا لكل طن مكافئ كربون (١٠-٢٠ دولارا/ طن $CO2$) ويزيد ٥-١٠% سنويا بقيم حقيقية. ينبغي ألا تحدد التصاريحُ الانبعاثَ في سنة واحدة، لكن يمكن بدلا من ذلك أن تسمح بانبعاث طن واحد في أى وقت على مدار فترة ممتدة، وربما غير محدودة. وبشكل مماثل، إذا كانت التصاريح لمدة أقصر، ينبغي أن يسمح لحائزى التصاريح أن يحتفظوا بها في بنك مجانا للاستخدام فى المستقبل، والاقتراض لخفض الانبعاث في المستقبل بشروط كافية للحد من الاحتيال ومخاطر التخلف عن السداد.

للتأكد من أن نظام الذروة والتجارة يقدم الحوافز المطلوبة على المدى الطويل، ينبغي أن يتضمن حدودًا صريحة لمجال السعر الذى تباع به التصاريح- سقفا للسعر وحدا أدنى له - يزيدان عبر الزمن طبقا لجدول يعلن عنه سلفًا وذروة الانبعاث تضيق. سقف السعر هو "صمام الأمان"- السعر الذى عنده تبيع الحكومة مزيدًا من التصاريح بأية كمية، مما يحد من المخاطر المالية لقفزات الأسعار إذا ضاقت الذروة بسرعة شديدة مقارنة بسرعة تطور التكنولوجيات الآمنة للمناخ وإنتاجها. طلب الكثير من مصادر الانبعاث صمام أمان، وعارضه كثير من جماعات البيئة لأنهم يريدون اليقين فى الانبعاث الكلى الذى يبدو أن ذروة صارمة تقدمه. فى رأينا، من المهم تضمين صمام الأمان للحد من الارتباك نتيجة القفزات الشديدة فى السعر. (وعلى أية حال، اليقين البادى لذروة انبعاث خادع: إذا قفزت الأسعار بشكل مرتفع جدا، تصبح الذروة متراخية أو معلقة، حتى لو لم يكن هناك صمام أمان صريح.) لكن ينبغي أن يكون مستوى صمام الأمان مرتفعا، يبدأ من

ضعف مستوى السعر الاستهلالى المتوقع أو ثلاثة أمثاله، ومن ثم لا نصل إليه إلا فى ظل ظروف متطرفة جدًا (أو غير محتملة) تجعل الذروة تتراخى بشكل مؤقت حقًا فى استجابة معقولة على المدى القصير.

ينبغى أن يكون الحد الأدنى للسعر سعرًا منخفضًا يعلن سلفًا عنده تسترد الحكومة كميات غير محدودة من التصاريح وتسحبها من السوق. يحد الحد الأدنى للسعر من خطر أن تصبح الذروة متراخية جدا ومن ثم تفشل فى تقديم الحوافز المطلوبة. قد يكون المستوى الاستهلالى للحد الأدنى للسعر نصف السعر المتوقع، ربما ١٥-٢٠ دولارا/ طن كربون. لخلق الحوافز المطلوبة على المدى الطويل للاستثمار وتطوير التكنولوجيا، ومن الضرورى رفع سقف السعر والحد الأدنى له بمرور الوقت طبقًا لمسار طويل المدى يعلن عنه سلفا، زيادة ربما ٥-١٠% سنويًا، كلما ضاقت ذروة الانبعاث. إذا لم يرتفعا، فإن النظام يعمل والذروة تضيق ببساطة وكأنه ضريبة كربون عند سعر صمام الأمان.

ثمة طلب آخر لتشجيع أقصى فعالية لنظام الذروة والتجارة يتمثل فى توزيع أكبر عدد ممكن من التصاريح بالمزاد، وليس منحها بالمجان لمصادر الانبعاث الحالى. بينما تقول النظرية إن هذا لا يحدث اختلافًا فى الحوافز الهامشية لمصادر الانبعاث ليصدر عنها انبعاث- فرصة بيع تصريح أخذ مجانًا تعطى حافزًا قويا لتخفيض الانبعاث بقدر الحاجة لشراء تصريح للانبعاث- فإن هذه المواقف ربما تختلف بقوة فى ظل فرضيات معقولة عن مدى ابتعاد السلوك الحقيقى لمصادر الانبعاث عن النظرية. طرح التصاريح فى مزاد ضرورى أيضًا لتجنب الانتقالات الكبيرة للثروة إلى مصادر الانبعاث، وهو ما يحدث حين توزع التصاريح مجانا. إذا واجه طرح كل

التصاريح فى مزاد فى البداية مقاومة كبيرة جدًا، ينبغى إذا طرح جزء فى المزاد، مع جدول صارم للانتقال إلى المزاد بشكل تام بمرور الزمن، فى فترة لا تزيد عن عشر سنوات. وينبغى أن يؤخذ هذا التعهد بشكل ملزم قدر المستطاع، على سبيل المثال، بجعل خطة ميزانية الحكومة تعتمد على الريع المفترض من المزادات.

علاوة على نظام للذروة والتجارة وضريبة للكربون، يتطلب الأمر تدابير أخرى لوضع استراتيجية كاملة: دعم عام للبحث والتطوير فى تكنولوجيات الطاقة الآمنة للمناخ ومشاريع البرهان على كفاءة التكنولوجيا المبتكرة، وتدابير تنظيمية أخرى. دعم البحث ضرورى لأنه حتى مع وجود سعر على الانبعاث، ينتج البحث والتطوير فى تكنولوجيات آمنة للمناخ منافع غير مباشرة لا تظهر فى الحوافز الخاصة. وعلى العكس من بعض المقترحات، لا يمكن أن تعتمد استراتيجية للمناخ بشكل حصرى على البحث وتطوير التكنولوجيا، دون تدابير اقتصادية على نطاق واسع لوضع سعر على الانبعاث. ويكمن السبب فى أنه حتى البرنامج الطموح للبحث يحتمل أن يطرح تكنولوجيات آمنة للمناخ أكثر تكلفة من البدائل التقليدية، فلا تنتشر بالقدر المطلوب من حوافز تولدها السياسة أو متطلبات للقيام بذلك.

وتعزز التدابير التنظيمية الإضافية- تسمى غالبا "تدابير قطاعية" لأنها تستهدف قطاعات أو تكنولوجيات صناعية خاصة ذات أولوية عالية- فعالية تدابير التعديل فى مناطق ذات إمكانية تقنية عالية لكن حيث حدَت حوافز سوق الطاقة من الفاعلية. كما ناقشنا فى الفصل الرابع، تشمل الأمثلة وضع قواعد، ومعايير لكفاءة المركبات، وقرارات تقسيم المناطق والتخطيط. لتجنب

هذه الأعباء الظالمة على قطاعات معينة، ينبغى أن تتسق صرامة التدابير القطاعية مع حوافز السوق الواسعة بتقييم تكلفة دورة الحياة أو التقنيات التحليلية المرتبطة بها. وربما يقدم استخدام التدابير القطاعية مزايا فى المفاوضات الدولية، بالسماح بالتنسيق بين الأطراف التجاريين فى الأعباء التنظيمية المفروضة على قطاعات خاصة متداولة.

٥-٣-٣ التتابع الاستراتيجى: نحو استراتيجية عالميـــة لغـــازات البيـــوت الزجاجية

تعطى مثل هذه المبادرة، من الولايات المتحدة وربما من آخرين، طاقة جديدة للمفاوضات الدولية فورًا، لكن أمريكا وحدها لا يمكنها حل مشكلة تغير المناخ. يمكن لأى مبادرة من هذا النوع من قبل الولايات المتحدة، أن تكون فقط الأولى فى سلسلة استراتيجية من خطوات تؤدى إلى الهدف المرجو: مساهمة دولية فى نظام للمناخ منسق وفعال ومربح. للوصول إلى هذا الهدف، ينبغى أن تسهِّل كلُّ خطوةٍ الخطوات التالية، بتشجيع الاستثمارات الخاصة المطلوبة وتقديم حوافز كافية للمساهمين الحاليين للوفاء بتعهداتهم وليشارك مساهمون آخرون.

الخطوة الثانية فى هذه السلسلة- تؤخذ فورا بعد الإعلان عن المبادرات من جانب واحد، التى نقترحها، وربما حتى قبل ذلك بالتوازى مع تطورها- من أجل من يوافقون على هذه التعهدات الأولية للبدء فى المفاوضات مع أمم أخرى لتوسيع تعهداتهم بشأن التعديل وتقويتها وتنسيقها. لكن مع أية أمم أخرى، وإلى أى مدى؟ عند هذه النقطة، الاختيار الأبسط هو

إجراء هذه المفاوضات فى ظل وجود الاتفاقية الإطارية واتفاقية كيوتو. هنا تبدو مزية العمل فى بنية مؤسسية موجودة، وتشمل اتفاقيتين موجودتين تشكلان طرقا عديدة لعمل دولى مرن، يجب تقييمها مقابل العيوب التى أعاقت التقدم إلى هذا الحد- متضمنة تاريخ المناظرات القطبية، والمعارضة المحصنة جيدا داخل الولايات المتحدة، وسجلا بالقرارات المتعجلة التى اتخذت دون تقييم للإمكانية أو التكلفة، وفقدان المصداقية التى تنشأ من فشل أمم كثيرة جدا فى الوفاء بتعهداتها. عدم التقدم بعد بالى فى نقاط مزمنة من النزاع، وخاصة العلاقة بين تعهدات الدول الصناعية والدول النامية، وأيضا الورطة الإجرائية ورفض اتفاقية كوبنهاجن فى مؤتمر كوبنهاجن نفسه، يوحى بأن حتى تبنى الاتفاقية من قبل المصادر الكبرى للانبعاث ربما لا يفسح المجال للتقدم فى هذا المنتدى.

بالإضافة إلى ذلك، ينبغى أن تتناول أية محاولة للسعى إلى اتفاق جاد خاص بالتعديل خلال هذه العملية أبسط عناصره البنيوية- المساهمة الدولية. بحثت الاتفاقية الإطارية واتفاقية كيوتو عن أوسع مشاركة ممكنة. تضم الاتفاقية الإطارية الآن أكثر من ١٩٠ عضوا، وتضم اتفاقية كيوتو أكثر من ١٨٠. تعزز المساهمة الدولية شرعية العملية، وتوسع الفرص للتخفيض حيث يكون الأرخص، ومن ثم خفض تكاليف تحقيق أى هدف محدد. لكن المساهمة الدولية، مع الإجراءات أو معايير اتخاذ القرارات بالإجماع، تخلق أيضا فرصا قوية للإعاقة. كما أكدت كوبنهاجن من جديد، فى منتدى دولى، لا تستطيع مجموعة ترغب فى خفض الانبعاث التفاوض بشأن كيفية القيام بذلك دون الآخرين الذين لا يساهمون ولديهم صوت أو حتى فيتو.

يعوق هذا التنافر بين من يقبل التعهدات ومن له كلمة فى بنودها اتخاذ قرارات فعالة بطرق متعددة. يمكن أن يفصل المفاوضات عن الاعتبارات العملية، حيث تتفاوض أطراف كثيرة حول بنود لن يطبقوها. ويمكن أن يخرج المفاوضات عن مسار التعهدات من خلال جهود الأطراف الأخرى لضمان سوابق أو بشكل آخر مناورة من أجل مزية طويلة الأمد. ويمكن أن يعوق محاولات التفاوض لتوسيع المجموعة التى تقبل التعهدات، أو تطوير حوافز لتشجيع هذا التوسع. بشكل أكثر جدية، تقوى العالمية بعض الدول، مثل المصدرين الكبار للوقود الحفرى، الذين قد يعارضون المسعى برمته. ويمكن أن يهتموا بإعاقة المفاوضات، حيث إنهم لا يفضلون فقط تجنب خفض الانبعاث الصادر عنهم، ولكن منع أيضا الآخـــرين مـــن القيام بذلك. لا يمكن فى منتدى عالمى استبعاد هذه الأمم من مفاوضات التعديل، بينما معيار اتخاذ القرارات بالإجماع يعنى أن حيلهم للإعاقة كثيرا ما تكون فعالة.

لأن هذه عيوب يتعذر تجنبها فى منتدى دولى يحتمل أن تستمر وتعوق عملا فعالا، ليس لدينا إلا أمل ضئيل فى تقدم جاد فى المفاوضات فى ظل الاتفاقية الإطارية واتفاقية كيوتو، أو أى منتدى آخر بمشاركة عالمية. وهنا ينبغى أن تستمر المناقشات بالطبع، خاصة وأعمال قوية بواسطة المصادر الكبرى للانبعاث، التى تدعم اتفاقية كوبنهاجن ربما تدفع إلى التقدم فى ٢٠١٠ فى ظل الاتفاقية الإطارية واتفاقية كيوتو بأكثر مما نتوقع. لكننا نشك فى أن المعدل المطلوب من التقدم يمكن أن يتحقق هنا، لذا نوصى بعدم الاعتماد على هذا بوصفه منتدى وحيدًا لمفاوضات المناخ. وينبغى السعى إلى عمل جاد على المدى القريب من خلال منتدى أصغر، لا يوجد فيه متفرجون: من يشاركون ويشكلون الأفعال هم أنفسهم الذين يقومون بالأفعال.

أية أمم ينبغي أن يضمها هذا المنتدى الأصغر؟ يجب أن تكون المجموعة المشاركة كبيرة بشكل كافٍ للقيام بمساهمة كبيرة في التعديل العالمي وممثلة بشكل كافٍ بحيث تقدم صفقةٌ بينها نموذجًا مقبولا لاتفاق عالمي تالٍ. ويجب أن تكون المجموعة قليلة العدد بشكل يسمح بمفاوضات فعالة مع تبادل حقيقي للمنافع والالتزامات وتقليص فرص التوقف والإعاقة. بينما قُدِّمت مقترحات متنوعة، نعتقد أن المقاربة الواعدة أكثر ستكون مفاوضات بين مجموعة من أكبر مصادر الانبعاث والاقتصاديات في العالم من بين كل من الدول الصناعية والدول النامية، عددها ١٢-٢٠ دولة تقريبًا. مماثلة في تكوينها لمجموعة العشرين، وللمجموعات التي شكلتها إدارتا بوش وأوباما لاستشارات غير رسمية بشأن المناخ، ويمكن لمثل هذه المجموعة أن تمثل حوالي ثلثي الانبعاث العالمي الحالي، ولذا يمكن أن تمثل مساهمة كبيرة في خفض الانبعاث العالمي. ويمكن أن تكون اقتصادياتها كبيرة بما يكفي لخلق حوافز قوية للشركات والمستثمرين لتطوير تكنولوجيات آمنة للمناخ، وللحد من مخاطر تسرب الانبعاث. ويمكن أن تكون متنوعة بما يكفي أن يقدم اتفاقٌ بشأن تغير المناخ مقبولا لهم نموذجًا معقولا لاتفاق عالمي تالٍ. ويبقى أنها يجب أن تكون قليلة العدد بما يسمح باحتمال مفاوضة جادة، مع توقع أن يشارك كل المساهمين في المسئوليات كما يشاركون في المنافع، ودون فرص الإعاقة التي تقدمها الإجراءات الأكبر والأكثر رسمية.

يمكن لهذه المجموعة أن تتفاوض بشأن مجموعة من الأعمال المترابطة تتعلق بتغير المناخ والقضايا المرتبطة به تكون مقبولة من المشاركين كلهم، وتضع الخطوط العريضة لصفقة عالمية تالية خاصة بالمناخ. ويمكن أن يكون الهدف الرئيسي الربط دوليا بين العناصر الثلاثة

الرئيسية للاستراتيجيات القومية للتعديل: آليات على مستوى الاقتصاد لوضع سعر على الانبعاث، ودعم البحث والتطوير، والإجراءات القطاعية. وكما هو الحال على المستوى القومى، قد تكون الآليات على مستوى الاقتصاد العنصر الأساسى، ومدها دوليا المهمة الأكثر أهمية فى بناء جهد فعال متعدد الأطراف يتعلق بالتعديل بين هذه المجموعة.

ينبغى أيضا أن تطرح هذه المفاوضات بشأن الجهود المتبادلة لتعديل النزاع بين الدول الصناعية والنامية فى القلب من الورطة الحالية. يتطلب التعديل الفعال جهودا عالمية. لكن كل الدول النامية تقريبًا تستمر فى رفض حدود الانبعاث القومى (رغم قيامها بجهود قطاعية كثيرة)، بينما لا ترغب الدول الصناعية فى اتخاذ خطوات جادة دون تأكيدات بأن الدول النامية سوف تشارك فى الأعباء. فى رأينا، المقاربة الواعدة لحل هذه الورطة مفاوضات متزامنة ومترابطة حول تعهدات التعديل لكل المشاركين، لكن مع أقوى التعهدات للبلاد النامية بأن تدخل هذه التعهدات حيز التنفيذ بعد فترة وبشروط محددة. فى ظل هذه المقاربة، تقبل الدول الصناعية المشاركة تعهدات صارمة بالتعديل تدخل حيز التنفيذ فى غضون سنوات قليلة، ربما بالجدول نفسه، فى المبادرة من طرف واحد، المقترح للولايات المتحدة، وسبق ذكره. يتم التفاوض بشأن تعهدات الدول النامية وتبنيها فى الوقت ذاته، لكنها لا تصبح نافذة إلا فيما بعد، بعد الوفاء بشروط معينة. ويمكن أن تتضمن الشروط تعديلا سابقا تقوم به الدول الصناعية، وربما آخرون من قبيل تدابير لتقدم التطور أو مؤشرات على شدة مخاطر تغير المناخ. بالتأكد من أن أعباء الدول النامية تعكس حالتها المختلفة ولا تعوق تقدمها، تكون هذه المقاربة مع مبدأ الاتفاقية الإطارية مسئولية مشتركة ومتميزة.

رغم أن هذه المقاربة تبدأ بجهود غير متماثلة، فإن هدفها هو الحركة باتجاه وضع تتماثل فيه الالتزامات: يساهم الكل توقعا لمساهمة الآخرين كلهم، وتعتمد التزامات كل مشارك على وفاء الآخرين بالتزاماتهم، مع مراجعة متبادلة وتقييم وتحليل سياسى لمساعدة الأطراف على الوفاء بأهدافهم بشكل فعال وبأدنى تكلفة. تفرض المقاربة مخاطر على الدول الصناعية المشاركة، التى عليها القيام بجهود غير مشروطة للتعديل على الفور، بينما تؤجل الجهود المناظرة من الدول النامية وتكون مشروطة. لكن يمكن للبنود الخاصة فى المفاوضات الحد من هذه المخاطر بطرق متنوعة، بجعل بعض تعهدات الدول النامية غير مشروطة (على سبيل المثال، السياسات القطاعية للتعديل، وهى فى حالات كثيرة توسع فقط المبادرات الجارية بالفعل)، أو بجعل الدول الصناعية منذ البداية مسئولة فقط عن السياسات التى وعدوا بها، وليس بالضرورة التخفيضات الناجمة للانبعاث التى توقعوها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن الحد من المخاطر بالنسبة للدول الصناعية المشاركة بحقيقة أنها لن تستمر فى جهودها إذا لم يفِ الآخرون بتعهداتهم.

كيف يمكن عمليا تحقيق هذه الالتزامات بالتعديل، التى تم التفاوض بشأنها؟ جزئيا يعتمد هذا على الشكل الذى تتبناه الأطراف محليا للجمع بين نظم الذروة والتجارة وضرائب الكربون. يمكن لهذه المفاوضات ربط نظم الذروة والتجارة بتبادل دولى للتصاريح، مع مراقبة مناسبة لحصة التصاريح وتجارتها وامتثالها للشروط. يتطلب مثل هذا النظام المتكامل للتصاريح القابلة للتداول مفاوضات صريحة بشأن خطوط الأساس التى يتم منها تحديد حقوق

التداول[١]. وبشكل بديل، يمكن لهذه المفاوضات أن تتسق مستويات ضريبة الكربون، وهدفها، وإعفاءاتها، وتفاعلاتها مع نظم الضرائب الموجودة، على ما يفترض بعائد للضرائب يبقى فى بلده. فى أى من الشكلين، يمكن التفاوض بشأن بنود خاصة بحيث تبدأ كل أعباء التعديل للدول النامية المشاركة تدريجيا على مدار ١٠-٢٠ سنة كما ناقشنا من قبل، وتتحمل جزءًا صغيرًا من التكلفة أو تتلقى حتى منفعة خالصة قبل هذه النقطة. وبصرف النظر عن التفاوض بشأن توزيع الأعباء، ينبغى أن تسمح آليات المرونة الدولية باستثمارات فورية للتعديل فى الدول النامية، مع مسئولية واضحة عن تأثيرات الانبعاث الصادر عنهم بمجرد رسوخ خطوط الأساس القومية. وحيث أن الدول المختلفة قد تختار الجمع بصور مختلفة بين نظم التصاريح والضرائب، ينبغى أيضا أن تبنى المفاوضات قدرة تحليلية لتقييم الصرامة الكلية لجهود التعديل ومقارنتها، والقدرة الإدارية لدمج النظم المختلفة.

وتشمل المفاوضات أيضا العنصرين الآخرين لاستراتيجية التعديل، دعم البحث والتطوير والإجراءات القطاعية. ربما حتى يكون هذان العنصران فى المفاوضات الدولية أكثر أهمية من السياسة المحلية للتعديل، لأنهما يقدمان وسائل إضافية للحد من المخاطر وتوزيع المنافع لعقد صفقة مقبولة من كل الأطراف. ربما يشمل التفاوض حول التدابير القطاعية معايير

---

(١) على عكس بعض المقترحات. نرفض احتمالية التقدم الدال فى الحد من الانبعاث بإنشاء أسواق دولية للتصاريح دون اتفاق على حصص التصاريح أو خطوط الأساس للانبعاث. مثل هذه المقاربة تؤدى إلى حصص غير مقيدة وأسعار للتصاريح منخفضة جدا بحيث تفشل فى تقديم حوافز كافية لخفض الانبعاث، أو حتى لبناء تكامل نظام التداول ومتابعته.

تفضيلية مشتركة أو أهدافاً لكثافة الانبعاث بالنسبة لقطاعات أو منتجات صناعية خاصة، على سبيل المثال، الصلب أو السيارات. يمكن لهذه التدابير أن تعتمد على الإرادة الواضحة للدول النامية الكبيرة فى تبنى إجراءات خاصة للحد من الانبعاث أيسر من القيود على مستوى الاقتصاد. يمكن أيضا أن تحد من الخسائر التنافسية أو تشوهات التجارة فى قطاعات كثيفة الانبعاث ومتداولة. يمكن لمفاوضات أبحاث الطاقة الآمنة للمناخ أن تسهل تخفيض الانبعاث بتشجيع تطوير ابتكارات الطاقة الآمنة للمناخ وانتشارها، ويمكن للمفاوضات المصاحبة بشأن الدعم المشترك لهذه الجهود وانتشار الخاصية الناجمة والمنافع أن تقدم أدوات إضافية لتوزيع المنافع بين المشاركين وهكذا تعقد صفقة شاملة قابلة للتطبيق.

يمكن أن تكون هذه المفاوضات أوسع من سياسة التعديل. رغم أنها قد لا تشمل معظم الأمم المعرضة للتأثيرات، ويبقى أن عليها أن تواجه تأثيرات المناخ ونقاط الضعف، خلال اتفاق على المشاركة فى البحث، والتقييم، وبناء القدرة على التكيف، والاستجابة والتعويض. وقد تبدأ أيضا تطوير إطار تعاونى لأبحاث هندسة المناخ وتقييمها ونظامها. وربما تحتاج أيضا أن تتضمن قضايا خارج سياسة المناخ، موجهة الأبعاد المرتبطة بسياسة الطاقة، والتكنولوجيا والتمويل، والتجارة والاستثمار والتنمية. ينبغى أن يُوجَّه اتساع الأجندة بطرح الأولويات الأساسية لكل المشاركين وتقديم منافع كافية بالترادف مع الالتزامات لتكون مقبولة من كل المشاركين.

تمثل هذه المفاوضات، إذا نجحت، خطوة كبيرة باتجاه استجابة عالمية فعالة لتغير المناخ. ولكن لحدوث ذلك، يجب أن يسهل الاتفاق الذى يتم

التوصل إليه فى هذه المجموعة التفاوضية الأولية، ولا يعوق، التوسع التالى باتجاه مشاركة تكاد تكون عالمية بانضمام أمم أخرى. بالإضافة إلى ذلك، ينبغى أن يحدث هذا التوسع بسرعة نسبيا لتخلق صفقة المجموعة الأولية حوافز مناسبة لتشجيعه. للحد من مخاطر أن تعانى المجموعة الأولية من عيوب تنافسية مستمرة، مع التحول الناجم للاستثمار كثيف الانبعاث إلى مناطق لا تخضع للسيطرة وتسرب الانبعاث، ينبغى أن يحد الاتفاق الأولى من الحوافز للصناعات عالية الانبعاث لتخرج من الاتفاق، ويمنح حوافز لبلاد إضافية لتنضم إليه. وإحدى وسائل منح هذه الحوافز من خلال تدابير التجارة التى تجعل أعباء تكاليف التعديل متساوية بين البضائع المنتجة داخل المجموعة المشاركة وخارجها.

يعتمد الشكل الخاص من هذه التدابير على سياسات التعديل التى يتم تبنيها. يمكن ضبط ضرائب الانبعاث عند حدود المجموعة المشاركة، تفرض على الواردات وتخصم من الصادرات بما يتناسب مع الانبعاث الصادر فى إنتاجها. فى نظام للذروة والتجارة، يمكن تحقيق التأثير المكافئ بحصول الواردات على تصاريح انبعاث ومنح تصاريح جديدة للصادرات. وتؤدى هذه التدابير إلى توزيع تكاليف سياسة التعديل بالتساوى بين البضائع المتماثلة المنتجة داخل منطقة السيطرة وخارجها. بتخفيض الضغوط التنافسية لانتقال الصناعة عالية الانبعاث إلى الخارج، تستبعد هذه التدابير من مسار رئيسى لتسرب الانبعاث. بتخفيض المزايا التنافسية للمغامرات خارج منطقة السيطرة، سوف تخفض أيضا الحوافز للحكومات التى تبقى خارج المجموعة.

تواجه هذه التدابير تحديات عديدة. وسيكون من الضرورى الحكم عليها بالقبول فى ظل قواعد منظمة التجارة العالمية، وسيكون عليها أن تظهر دقة كافية فى أن تعزو الانبعاث للمنتجات. وربما سيكون من الضرورى أن تجرى هذه الحسابات هيئة محايدة من الخبراء، مسئولة مجتمعة أمام كل الأمم المشاركة، مع عمليات لمراجعة حساباتها والاحتكام إليها، ومن ثم الحد من مخاطر استخدام التدابير بوصفها حماية تجارية مستترة. وربما من الضرورى أيضا أن تكون مرنة بما يكفى لتأخذ فى الاعتبار حالة التنمية للشركاء التجاريين. إنها تحديات خطيرة، لكن يمكن، فى رأينا، التغلب عليها بتصميم دقيق للتدابير والعمليات اللازمة لتحقيقها. ربما المجادلة الأفضل بالنسبة لهذه التدابير هى أنه إذا كان التهديد من تشريعها يحفز عددا كافيا من الأمم الأخرى للانضمام، فلن يكون من الضرورى تحقيق التدابير. كان استخدام مماثل للتدابير التجارية فعالا بشكل كبير فى تحفيز الأمم للانضمام إلى اتفاقية مونتريال، متضمنة قيدًا واسعا جدًّا ومرهقًا جدًّا حتى اعتبر غير عملى فى النهاية. يمكن أن يكون لتدابير التجارة المرتبطة بغازات البيوت الزجاجية هدف مماثل- تحفيز هذا التوسع السريع فى المشاركة وهى تُدرَس وتتطور حتى يصبح تحقيقها غير ضرورى.

بإيجاز، يمكن أن يتقدم التتابعُ الاستراتيجى الذى نقترحه للابتعاد عن الورطة الحالية باتجاه عمل عالمى بخصوص المناخ فى ثلاث مراحل مترابطة. الأولى: تعلن الولايات المتحدة، وربما مع الاقتصاديات الصناعية الكبرى الأخرى، مجموعة جادة من تعهدات التعديل. الثانية: تتفاوض مجموعة الاقتصاديات العالمية الكبرى حول صفقة شاملة فى سياسة المناخ والطاقة، تشمل تعهدات بالتعديل متبادلة ومقبولة على مستوى القطاعات

والاقتصاد. الثالثة: تنظم بنية هذه الصفقة التطور التالى لاتفاق عالمى بشأن تغير المناخ، ربما بالتفاوض على اتفاقية إطارية معدلة بخصوص تغير المناخ أو بروتوكول جديد فى ظل تلك الاتفاقية. ولا يعتمد مفتاح المقترح على مفاوضات فى منتدى عالمى بالنسبة للخطوات الأولى، بل يعتمد فى الحقيقة على توحيد لإعلانات رائدة من طرف واحد ومفاوضات فى مجموعة صغيرة من الاقتصاديات العالمية الكبرى تسهل إدارتها.

لا نزعم أن نجاح هذه المقاربة مؤكد، أو أن فشل السعى لاتفاقات أقوى فى ظل اتفاقية كوبنهاجن مؤكد. لكن آفاق العملية الحالية غير واعدة، والحاجة الملحة لعمل أكثر جدية هائلة. ثمة درس واضح لكوبنهاجن وهو أن قيادة المصادر الكبرى للانبعاث فى مفاوضات عالمية ليست كافية، بسبب وجود فرص كثيرة جدًا للإعاقة فى منتدى كبير. وينبغى التفاوض بشكل كامل حول تعهدات القادة والانتقال إلى التنفيذ قبل العودة إلى منتدى عالمى. رغم أن مجموعة التفاوض التى نقترحها مماثلة للمجموعات التى شكلتها بشكل غير رسمى إدارتا بوش وأوباما، فإن تحقيق صفقة على نطاق كاف، وجادة بشكل كاف، يتطلب مؤسسات ودعم أقوى. قد يشمل نموذج مؤسسى واعد تنظيم تقدم قمة العشرين، على مستوى رؤساء الحكومات، مع دعم قومى (وربما دولى) مستمر. رغم الصعوبات، نحكم بأن مثل هذه المقاربة تحمل أعظم فرصة للنجاح. تسمح بمفاوضات منظمة لاتفاق أولى بشأن تغير المناخ، فى ظل سيطرة أو الالتزام بالتعهدات. ويمكن أن تقدم مسارًا ممكنا للتوسع المطلوب فى المشاركة العالمية، ويحد من المخاطر بالنسبة لمن يتحركون مبكرًا. ويمكن أن يقدم قاعدة مؤسسية مستمرة متاحة لطرح المشاكل العالمية الأخرى التى لا تعالج بشكل كاف فى المؤسسات الحالية.

٥-٣-٤ تعديل الاستجابات بمرور الزمن

قد تبدو المبادرة قريبة المدى التى طرحتها الولايات المتحدة والمفاوضات التى نقترحها طموحة جدا، لكنها تبقى خطوات مبكرة باتجاه معالجة فعالة لتغير المناخ، لسببين. الأول: التحول المطلوب على هذا النطاق لا يمكن تحقيقه بالأفعال قريبة المدى وحدها، مهما تكن جريئة، لكنها تحتاج إلى جهود مستمرة لعقود طويلة. الثانى: ينبغى أن تتم هذه الخطوات على المدى القريب فى ظل شك كبير يتعلق بتغير المناخ وتأثيراته، وتكاليف التعديل وفرصه. وبالتالى لا يمكن أن تنحصر فى مسار مستقبلى كامل من خلال التحول المطلوب فى الطاقة، لكن ينبغى تعديلها ونحن نتقدم، ونجمع الخبرة، ونتعلم أكثر. ليس التوسع المطلوب من مجموعة المفاوضات الأولية باتجاه المشاركة العالمية إلا بعدًا واحدًا ينبغى فيه أن تتكيف القرارات الأولية بمرور الزمن، ربما يكون البعد الأبسط والمتوقع أكثر من غيره. بالإضافة إلى ذلك، ينبغى إعادة تقييم المزج بين التكنولوجيات التى يتم تطويرها وتبنيها، وشكل السياسات وصرامتها لتحفيزها، وحتى هدف استقرار المناخ، بشكل دورى ومراجعتها بشكل فعال فى ضوء الخبرة وتقدم المعرفة والقدرات. إن الدليل على حساسية أعلى للمناخ، أو تغير أسرع، أو تأثيرات أشد، أو تكاليف أقل للتعديل سوف يستلزم تقوية التعديل من خلال أسعار أعلى للانبعاث أو ذرى وإجراءات أكثر إحكامًا، رغم الفجوات الزمنية الطويلة بين هذه الجهود وتأثيراتها على المناخ. سوف يوحى الدليل العكسى- حساسية أقل، أو تغيرات أقل، أو تأثيرات أخف، أو تكاليف أعلى للتعديل- بتراخى الجهود.

تخلق الحاجة إلى العمل الآن فى ظل شك كبير ما قد يبدو مفارقة. من ناحية، مسار افتراضى على المدى الطويل للانبعاث فى المستقبل وسياسات ينبغى أن تعلن الآن، لتمنح المستثمرين الحوافز المطلوبة على المدى الطويل. ومن الناحية الأخرى، ربما يتطلب التقدم مستقبلا فى المعرفة أو القدرات تغيير هذه المسارات ونحن نتقدم. وتتمثل طريقة حل هذا التوتر فى تعديل المسارات ولكن بحذر، مع الموازنة بين منافع التعديل طبقًا للمعرفة المتغيرة- أى تكلفة الاستمرار فى مسار أو سياسة للانبعاث صار دون المستوى النموذجى من منظور المعرفة الجديدة- وتكاليف الارتباك، وشك المستثمر، وفقدان المصداقية بالنسبة للمسارات المعلنة نتيجة تغييرها. وهناك طرق عملية متنوعة يمكن لتعديلات السياسة أن تحد بها من هذا الارتباك. ربما تتطلب التغيرات على مسارات أعلن عنها من قبل إشعارًا قبلها بسنوات عديدة، أو تكون محدودة بتغير نسبى محدد سنويًا. وبشكل بديل، يمكن للتعديلات أن تعالج رأس المال الجديد والموجود بصورة منفصلة، فارضة التغيرات فورًا على الاستثمارات الجديدة وتمنح فترة سماح لرأس المال الموجود للوفاء بالمتطلبات الجديدة تدريجيا[1].

يمكن للقرارات الحالية أن تتنبأ بهذا الاحتياج للتعديل مستقبلا، بوضع مرونة فى بنية السياسات والاتفاقات قريبة المدى. يمكن أيضًا للقرارات الحالية أن تدعم البحث والتقييم ليكونا مفيدين فى توجيه القرارات المستقبلية،

(١) من الواضح أنه إذا تم العمل بهذه المقاربة، فإن أى تفضيل لرأس المال القديم لابد أن يجدول فى مدة محددة تماما ويعلن عنها مسبقا. للحد من الحوافز للحفاظ على استمرار رأس المال القديم فى العمل لوقت أطول.

وأيضا تطوير التكنولوجيا بحيث تقوى القدرة المستقبلية على معالجة القضية، على سبيل المثال، تكنولوجيات لمتابعة الانبعاث والأنشطة، مثل تلك المرتبطة باستخدام اليابسة، وهى غير عملية للتحكم الآن لكن ينبغى تضمنيها وحدود الانبعاث تضيق.

سوف تتطلب أيضًا عمليات مراجعة السياسات وتعديلها، أكثر من هذه الطرق الواضحة التى يمكن للقرارات الحالية أن تدعم بها التعديلات المستقبلية، مجموعة من المؤسسات والإجراءات التى تنير القرارات المستقبلية وتوجهها. كيف ينبغى إقرار التعديلات المستقبلية، ومن عليه اتخاذ القرارات؟ رغم الشك فى أن تفرض إمكانية صناع القرار اليوم وشرعيتهم قيودًا قوية على قرارات المستقبل، يُقبَل شكل محدود من هذه القيود ويمارس على نطاق واسع فى النظم البيئية الأخرى. استخدِمتْ هذه العملية، المؤسسة على التحكم فى أجندة صناع القرار فى المستقبل وإعطائهم معلومات مؤسسة على الخبرة، بفاعلية فى اتفاقية مونتريال، وتوجد الخطوط العريضة لعملية مماثلة فى الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ. وتشمل هذه العملية متطلبا قانونيا يراجع السياسات بشكل دورى ويقيم كفاءتها بالنسبة للمعرفة والقدرات المتطورة. وتُقدِّم تقارير التقييم الصادرة عن هيئات الخبرة عن تقدم المعرفة العلمية والإمكانيات التكنولوجية لتوجيه هذه المراجعات السياسية الدورية. وتوحى خبرة اتفاقية مونتريال بأن تقييمات الإمكانيات التكنولوجية يمكن أن تكون حاسمة جدا بمجرد أن تكون السياسات مناسبة، والأهداف تتحول باتجاه أعلى تخفيض للمخاطر، محددة فقط باعتبارات الإمكانيات التقنية والتكاليف.

٥-٤ الخلاصة

فى الختام، لخص هذا الكتاب المعرفة العلمية الحالية فيما يتعلق بكيفية تغير المناخ وسببه، وكيف يحتمل أن يتغير على مدار القرن الحالى، والتأثيرات التى قد تحدث نتيجة له، وما يمكن القيام لمواجهته. وثَّقْنا الدليل العلمى الشامل على أن حرارة الأرض ترتفع، وأن تغير المناخ سوف يستمر مع تأثيرات قد تكون شديدة فى نهاية هذا القرن. وبناء على هذا الدليل، جاء حكمنا بأن مخاطر مؤكدة جدا من تغير المناخ تحتاج إلى استجابة عاجلة ذات أولوية عالية، بهدف خفض الانبعاث فى المستقبل والاستعداد لمناخ يعتريه الشك أكثر وأقل لطفاً عما تمتعنا به فى القرن الماضى. يجب أن تبدأ جهود ملموسة لبناء هذه الاستجابة فورًا.

رغم وجود دلائل لحركة ونحن نكتب فى أوائل ٢٠١٠، فإن المجتمع ليس مستعدًّا بعد لاستجابة جادة. وهناك أسباب كثيرة لهذا. يرتبط بعضها بالشك العلمى الذى يتعذر تجنبه- وهو لا يبرر عدم القيام بفعل، لكنه يقدم فرصًا بلاغية لتشويش القضية وتأييد التأجيل، ويجعل أيضًا من الصعب تحديد الفعل الذى يجب القيام به. ويرتبط بعضها بالتكاليف الباهظة للحد من تغير المناخ ومعالجته، وصعوبة تحديد السياسات التى توزع هذه التكاليف بشكل مقبول. مهما يكن خليط الأسباب، إن الأفعال الحالية غير كافية بكل معنى الكلمة مقارنة بخطورة القضية. رغم أن تغير المناخ معروف لأكثر من عقدين، فإن الأمم الكبرى تقترب فقط من خط البداية للقيام باستجابات جادة. تبقى عمومًا المفاوضات والمناظرة على المستوى الدولى، حيث يجب أن يحدث الفعل الرئيسى، فى ورطة عبر خطوط النـــزاع التـــى لم تتحرك

إلا قليلا، وحديثًا فقط. رغم الدلائل المتواضعة على أمل أن توجد فى اتفاقية كوبنهاجن، لا يوجد أساس للثقة باقتراب حدوث تقدم مفاجئ.

من نواحى عديدة مهمة، تحظى مقاربتنا لمعالجة تغير المناخ بإجماع بادٍ. الأولوية الأكثر إلحاحًا أن تشرع الأمم الكبرى سياسات متسقة ومترابطة فى المفاوضات الدولية، للحد من انبعاث غازات البيوت الزجاجية بتدابير مؤسسة على السوق تضع سعرًا مناسبًا على الانبعاث، يكملها دعم للبحث والتطوير فى تكنولوجيات الطاقة الآمنة للمناخ وإجراءات قطاعية أخرى. لاعتبار مهم، مع ذلك، نقترح فسحة من الممارسة والتوقعات الحالية: بدلا من الاستمرار فى البحث عن فعل دولى بشأن المناخ من خلال المفاوضات العالمية فى ظل الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ، نؤيد مبادرة كبيرة من طرف واحد من الولايات المتحدة، تتبعها فورا مفاوضات حول صفقة شاملة تربط تعهدات المناخ والطاقة بين مجموعة صغيرة من الأمم الكبرى الصناعية والنامية. وتقدم هذه الصفقة جوهر المفاوضات بشأن المناخ.

لكن بصرف النظر عن تفاصيل الخطوات الأولى الجادة باتجاه معالجة تغير المناخ، من الضرورى أن نقطعها. فى ضوء أننا انتظرنا بالفعل وقتا طويلا، من الأهم بكثير أن نعمل شيئا جادا بدلا من القلق بشأن أن تأتى الخطوة الأولى صحيحة بدقة. وإذا وضعنا فى الاعتبار الشكوك المتبقية والحواجز السياسية أمام الفعل الفعال، من المؤكد أن تأتى الخطوات الأولى ناقصة، وتكون فى حاجة إلى التقييم والتعديل عبر الزمن. وبالتالى، يكون تطوير مؤسسات وعمليات فعالة لدعم البحث والتقييم بفاعلية وتعديل السياسات مع اكتساب الخبرة، وتغير القدرات، وتقدم المعرفة، أكثر أهمية

بكثير لمعالجة ناجحة لتغير المناخ من تفاصيل السياسات الأولية. ويمثل تطوير هذه العمليات الخاصة بالتكييف تحديًا جديدًا وحاسمًا.

تشبه معالجة إخلال الإنسان بمناخ الأرض تجريب ناقلة فى مياه خطيرة. رغم أننا لا يمكن أن نتأكد، يبدو محتملا باطراد أن هناك صخورا أمامنا: ربما نوجّه بشكل صحيح تماما. نعرف أن هذا هو الاتجاه الذى نبغى أن نسير فيه، لكننا لا نعرف المسافة التى علينا قطعها لتجنب هذه الصخرة، وما إن كانت هناك صخور أخرى من حولنا، أو الجدية التى علينا أن نسير بها دون أن نخاطر بتدمير السفينة. بالإضافة إلى ذلك، تحتاج سفينة كبيرة مثل هذه إلى أميال لتغيير مسارها. لسوء الحظ، لا يوجد أحد عند عجلة القيادة الآن. أفراد الطاقم تحت، يتجادلون عما إذا كانت هناك صخور أمامهم حقا، وعن المسار الدقيق الذي ينبغى علينا أن نسلكه للوصول إلى هدفنا النهائى، ومن عليه أن يسلك الطريق بنا. وأفراد الطاقم يتجادلون، تقترب السفينة أكثر من الصخور. بشكل ما، ما نحتاج إليه هو أن نصعد بعض الدرجات لنبدأ فى الابتعاد عن الصخور- الآن. ولأن السير بالغ البطء، يجب أن نبدأ الابتعاد فورًا. فى الوقت ذاته، نحتاج إلى أن نعرف المزيد عن موقع الصخور- ونعرف أيضا، بالبدء فى السير، كيف تستجيب السفينة ومدى الصعوبة التى يمكن أن نواجهها فى تسييرها. لكن لا شىء من هذا الذى علينا أن نعرف المزيد عنه يبرر الانتظار فى البدء فى تسييرها: يعنى فقط أن نسير بحذر، ونكون يقظين لكل ما يمكن أن نعرفه بشأن السفينة وأخطار المياه، ونحن نفعل ذلك. ربما علينا أن نتجنب الصخور، لكننا نحتاج إلى أن نبدأ الآن.

مزيد من القراءة حول الفصل الخامس

Joseph E. Aldy, A.J. Krupnick, R.G. Newell, I.W.H. Party, and W.A. Pizer (2009). Designing Climate Mitigation Policy. Discussion paper 08-16 (May). Washington, DC: Resources for Future. At www.rff.org/RFF/Documents/RFF-DP-08-16.pdf

مراجعة شاملة للقضايا الحديثة في تصميم السياسة لتخفيض الانبعاث، تشمل تقديرات للتكاليف والفوائد، والمسار المثالي لأسعار الانبعاث، وتصميم أدوات السياسة، والعلاقة بين الانبعاث وسياسات التكنولوجيا.

Joseph E. Aldy and R.N. Stavins, eds. (2009). Post-Kyoto International Climate Policy: Summary for Policymakers. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

مناقشة للمقاربة البديلة للتفاوض بشأن اتفاقات جديدة بخصوص المناخ بعد ٢٠١٢، تؤكد على المقاربات التي قد يتم التفاوض بشأنها في كوبنهاجن بوصفها توابع لاتفاقية كيوتو.

Council on Foreign Relations (2008). Confronting Climate Change: A Strategy for U.S. Foreign Policy. Independent Task Force Report No. 61, G.E. Pataki and T.J. Vilsack, chairs, New York: Council on Foreign Relations.

أحدث التقارير الكثيرة عن الهيئات العليا يقدم توصيات من أجل سياسة تغير المناخ في الولايات المتحدة، مع تركيز خاص على الكيفية التي يمكن بها للولايات المتحدة أن تحقق دفعة للتأثير على ميول الانبعاث العالمي. ثمة ثلاثة بيانات موجزة معارضة تمسك بإيجاز بثلاثة من أكثر الأبعاد الحالية حدة للخلاف السياسي- ما تكلفة دمج الانبعاث الحرج في خطوات على المدى القريب، سواء لصالح الضرائب أو نظم الذروة والتجارة، وما إن كان ينبغي للمفاوضات الدولية تركز في البداية على المعاهدات الملزمة تحت رعاية الأمم المتحدة، أو اتفاقات سياسية متبناة في مواضع أصغر ورسمية بشكل أقل.

Robert Lempert (2009). Setting Appropriate Goals: A Long-term Climate Decision. Workshop, Shaping Tomorrow Today: Near-term steps towards long-term goals. Santa Monica: RAND Pardee Center.

At www.rand.org/international_programs/pardee

مناقشة مبتكرة للاستراتيجيات البديلة على المدى الطويل لمعالجة تغير المناخ، الفرضيات التى تعتمد عليها كل منها، ودور الأنواع البديلة من الأهداف فى تشكيل استراتيجية أقوى فيما يتعلق بالشكوك.

Edward A. Parson (2008). The Long Haul: Managing the Energy Transition to Limit Climate Change. Workshop synthesis report. August 2008.

At www-personal.umich.edu/-person/website/research.html

تقرير حلقة دراسية فحص كيف تحتاج سياسات المناخ للتعديل بمرور الزمن استجابة لتطور المعرفة، والشكوك، والقدرات، وأى القرارات قريبة المدى فيما يتعلق بالسياسات والمؤسسات قد يساهم بأفضل صورة للتكيف المستقبلى المطلوب

معجم المصطلحات

التكيف *Adaptation*: أية استجابة لتغير المناخ تعدّل المجتمع الإنساني طبقا للمناخ المتغير لخفض الأضرار الناجمة والحصول على أية منافع مرتبطة به. وتشمل أمثلة تدابير التكيف بناء حواجز البحر أو السدود للحد من مخاطر ارتفاع مستويات البحر أو فيضانات الأنهار، أو زراعة محاصيل مقاومة للجفاف للتعامل مع فصول الصيف الجافة فى المناطق الزراعية.

الإيروسولات *Aerosols*: جزيئات صغيرة صلبة أو سائلة معلقة فى الغلاف الجوى. وتوجد أنواع كثيرة مختلفة من الإيروسولات، بما فى ذلك الغبار والهباب. بعضها طبيعي وبعضها ينطلق أو يزيد نتيجة أنشطة الإنسان. لها كلها أعمار قصيرة فى الغلاف الجوى. للأيروسولات تأثيرات كثيرة مباشرة أو غير مباشرة على المناخ، بعضها يرفع حرارة السطح وبعضها يخفضها. وهناك شك كبير بشأن التأثير الإجمالى الحالى للإيروسولات على المناخ، لكن أفضل التقديرات تأثير خفض الحرارة فى المحصلة تقابل حوالى نصف تأثير ارتفاع الحرارة من غازات البيوت الزجاجية.

اختلافات الحرارة *Anomalies, temperature*: الاختلاف بين درجة حرارة مقيسة ودرجة الحرارة فى الموضع نفسه فى المتوسط فى فترة زمنية مرجعية.

التقييم *Assessment*: عملية توليف المعرفة العلمية وتقييمها وتوصيلها لتوجيه السياسة أو القرارات. وتشمل التقييمات العلمية عادة لجنة مناسبة من الخبراء تراجع المعرفة الحالية والشك فى مسائل خاصة مرتبطة بالسياسة وتنتج تقريرا يتضمن ملخصات مبسطة سهلة الفهم لغير المتخصصين.

سيناريو خط الأساس *Baseline scenario*: سيناريو للانبعاث أو المناخ فــي المــستقبل يفترض عدم التدخل الــدولى لتغيير الميــول المستقبليــة، تُقيّم على أساسها الأهداف أو الاستراتيجيات البديلة للتعديل.

إشعاع الجسم الأسود *Blackbody radiation*: إشعاع من جــسم مثــالى يمــتص كــل الفوتونات التى تسقط عليه ويبعث فوتونات بتوزيع لأطوال الموجات تحــدده درجــة حرارته. يأتى اسم الجسم الأسود من حقيقة أن الفوتونات التى تنبعث فى درجة حرارة الغرفة غير مرئية للبشر - وهكذا يبدو الجسم أسود.

الذروة والتجارة *Cap-and-trade*: نظام للتنظيم فيه ينبغى لأى مصدر انبعاث أن يمتلك تصريحا لكل طن ينبعث منه من غازات البيوت الزجاجية. تقرر الحكومــة الكميــة الإجمالية للانبعاث المسموح بها وتسمح بتوزيع تلك الكمية مــن التــصاريح، ســواء بالمزاد أو توزع مجانا. وبعد ذلك، ربما تشترى مصادر الانبعاث التصاريح وتبيعهــا فيما بينها. سعر التصاريح، وهو السعر الذى تواجهه مصادر الانبعاث لكل طن ينبعث منها، تحدده التجارة فى سوق التصاريح، وليس الحكومة.

اصطياد الكربون وتخزينه *Carbon capture and storage*: التكنولوجيات التى تــسمح باستخدام محتوى الطاقة فى الوقود المعتمد على الكربــون دون انبعــاث *CO2* إلــى الغلاف الجوى، بفصل *CO2* أو اصطياده وتخزينه فى خزانات آمنة طويلــة العمــر تحت الأرض أو تحت البحر.

ضريبة الكربون *Carbon tax*: نظــام للتنظيم ينبغى فيه لمصدر الانبعاث أن يدفع أتعابا أو ضريبة لكل طن ينبعث منه. والفرق الرئيسى بين ضرائب الكربون ونظم الــذروة والتجارة أن السعر الذى تواجهه مصادر الانبعاث مقابل كل طن ينبعث منها هو معدل الضريبة، التى تضعها الحكومة مباشرة.

الكولوروفلوروكربونات *CFCs*: انظر *chlorofluorocarbons*

الميثان *Ch4*: انظر *methane*.

الكولوروفلوروكربونات ***Chlorofluorocarbons***: عائلة من المواد الكيميائية الصناعية المصنعة، مشتقة من الميثان أو الإيثان باستبدال الكلور أو الفلور بكل ذرات الهيدروجين. تستخدم بوصفها ملطفات، ومذيبات، ودوافع لاسبراى الأيروسولات، وفى استعمالات أخرى متنوعة، وهذه المواد الكيميائية هى المساهم الرئيسى فى تآكل طبقة الأوزون بسبب الإنسان. وتحكمها الآن معاهدة دولية بصرامة، اتفاقية مونتريال. إنها أنواع متعددة ومترابطة من المواد الكيميائية، تشمل بعض البدائل المتطورة التى تسبب تآكلا أقل فى طبقة الأوزون، غازات قوية تنبعث من البيوت الزجاجية.

المناخ ***Climate***: حالات الغلاف الجوى، وتشمل درجة الحرارة والرطوبة والأمطار، والرياح، فى المتوسط على مدار الزمن. يتميز مناخ مكان ما عن طقسه، وهو حالات الغلاف الجوى فى وقت محدد. مناخ المكان أقل تنوعا ويمكن توقعه بشكل أفضل من الطقس.

حساسية المناخ ***Climate sensitivity***: التغير فى المناخ بسبب قوة محددة. المقياس الأكثر شيوعًا لحساسية مناخ الأرض هو التغير فى متوسط درجة حرارة الأرض الذى يحدث استجابة لمضاعفة لحظية لتركيز *CO2* قبل الصناعة، من ٢٨٠ جزء فى المليون إلى ٥٦٠ جزء فى المليون، تتبعه فترة تسمح للمناخ بتحقيق التوازن لهذه الكمية المرتفعة من *CO2*. التقدير الحالى لهذه الحساسية لمضاعفة *CO2* ٢-٤,٥ درجة مئوية.

تقلب المناخ ***Climate variability*** (أيضا التقلب الداخلى أو التقلب الطبيعى): تغيرات فى المناخ تحدث دون أية قوة خارجية. وأشهر مثال لتقلب المناخ هو تذبذب النينو الجنوبى.

ثانى أكسيد الكربون ***CO2***: انظر ***carbon dioxide***.

مكافئ ثانى أكسيد الكربون *CO2-equivalent*: مقياس مفرد لحساب التأثير الكلى لثانى أكسيد الكربون على المناخ الذى يكون له القوة الإشعاعية نفسها بوصفه مزيجا خاصا من CO_2 والغازات الأخرى.

ثانى أكسيد الكربون *carbon dioxide* *(CO2)*: الغاز الرئيسى بين غازات البيوت الزجاجية، الذى يزيد مباشرة نتيجة أنشطة الإنسان. ينطلق ثانى أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوى بحرق أى مصدر لوقود يحتوى على كربون، بما فى ذلك الوقود الحفرى والوقود الحيوى. منذ بدأ استغلال الوقود الحفرى على نطاق واسع فى الثورة الصناعية، زاد تركيز CO_2 من حوالى ٢٨٠ جزء فى المليون إلى حوالى ٣٨٥ جزء فى المليون فى ٢٠٠٩. ويزداد حاليا حوالى ٢ جزء فى المليون كل عام.

كثافة الكربون *Carbon intensity*: كمية CO_2 المنبعثة من كل وحدة طاقة تستخلص أو تتحول. تقيس كثافة الكربون فى اقتصاد الأمة مجمل اعتماده على الوقود الذى ينبعث منه الكربون. انخفضت كثافة الكربون فى معظم الاقتصاديات على مدار القرن الماضى حيث حل الوقود منخفض الكربون مثل الغاز الطبيعى والوقود النووى والمتجدد جزئيا مكان المصادر مرتفعة الكربون مثل الفحم والخشب، لكن هذا الميل لانتزاع الكربون ركد حديثا.

نظام القيادة والسيطرة *Command-and-control regulation*: نظام بيئى يحدد ما ينبغى أن تقوم به الأعمال أو المصادر الأخرى للانبعاث لخفض الانبعاث، بدلا من تحديد الهدف البيئى ومنحها المرونة فى إقرار كيفية الوفاء به.

اتفاقية كوبنهاجن *Copenhagen Accord*: اتفاق سياسى تفاوضت بشأنه ٢٨ أمة فى ديسمبر ٢٠٠٩، وقد أعلنت أهدافا وتعهدات جديدة للحد من تغير المناخ، وتخفيض الانبعاث، والتحقق من التعهدات، والتمويل.

تحليل التكاليف والفائدة *Cost-benefit analysis*: طريقة لتقدير مجمل الفوائد الاجتماعية لسياسات عامة مقترحة، بمقارنة فوائد كل فعل مقترح وفوائده.

إزالة الغابات ***Deforestation***: عملية نزع الأشجار من الأرض بقطع الغابات. وإذا حُرقت الأشجار المقطوعة، ينطلق الكربون الذى تحتوى عليه إلى الغلاف الجوى. ويقدر إجمالى الانبعاث من إزالة الغابات بمقدار ١,٦ جيجا طن كربون تقريبا فى ٢٠٠٠ أو ٢٠% من إجمالى الانبعاث البشرى تقريبا.

الخصم ***Discounting***: طريقة لتحويل التكاليف أو الفوائد التى تحدث فى أوقات مختلفة إلى مقياس عام وبذلك يمكن جمعها ومقارنتها. يضاعف الخصم التقليدى التأثيرات المستقبلية بعامل ثابت فى فترة زمنية، وهو مكافئ للفائدة المركبة على حساب الادخار. تستخدم معدلات الخصم لتقييم السياسات العامة ومشاريع الاستثمار وتتراوح عادة من ١ إلى ١٠% تقريبا فى السنة. وللكيفية تخصم بها التأثيرات التى تحدث فى أواخر هذا القرن أو بعد ذلك تأثيرات حاسمة ومثيرة للخلاف على تقييم سياسات تغير المناخ.

نظام المصب ***Downstream regulation***: نظام لانبعاث غازات البيوت الزجاجية يطبق فى نقطة حرق وقود حفرى، حيث يحدث بالفعل الانبعاث إلى الغلاف الجوى.

تذبذب النينو الجنوبى ***El Niño/Southern Oscillation (ENSO)***: أشهر أنماط التقلب الداخلى للمناخ، إعادة تنظيم على نطاق واسع لدورة الغلاف الجوى والمحيطات، مركزه فى الجزء الاستوائى من المحيط الهادئ ويحدث كل بضع سنوات. تسمى مرحلتا التذبذب الجنوبى النينو ***El Niño*** والنينا ***El Niña***، وتحدثان فى تغيرات الرياح التجارية الاستوائية التى تهب فى المحيط الهادئ وما ينجم عنها من تقلب المياه الباردة قبالة الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية. وتمتد التغيرات المرتبطة بها فى درجات الحرارة وسقوط الأمطار إلى كل أرجاء العالم، مع ارتفاع فى متوسط درجة حرارة الأرض أثناء النينو وانخفاض أثناء النينا.

تصاريح الانبعاث ***Emission Permits***: انظر ***cap-and-trade***.

كثافة الانبعاث (أو كثافة غازات البيوت الزجاجية) *Emission intensity*: كمية الطاقة المستهلكة لكل وحدة من الناتج. فى عملية صناعية أو اقتصاد.

التوازن (أو توازن الطاقة) *Equilibrium*: حالة تبقى فيها كمية ما دون تغيير، لأن التيارات التى تميل إلى زيادتها أو إنقاصها فى حالة توازن. يحدث توازن الطاقة بالنسبة لمناخ الأرض حين تكون الطاقة القادمة من الشمس وناتج الطاقة المشعة إلى الفضاء من خلال الأرض متساويين. ولنظام مناخ الأرض الكثير من عمليات التغذية الرجعية التى تضخم أو تخمد التأثير الأولى لارتفاع الحرارة نتيجة لزيادة فى غازات البيوت الزجاجية. عموما، محصلة التغذية الرجعية للأرض إيجابية، ومن المحتمل أكثر أن تضاعف ارتفاع الحرارة نتيجة غازات البيوت الزجاجية وحدها.

الوقود الحفرى *Fossil Fuels*: وقود يعتمد على الكربون ويشتق من حفريات الأشياء الحية القديمة. الوقود الرئيسى الحفرى هو الفحم والنفط والغاز الطبيعى.

الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ *Framework Convention on Climate Change* (*FCCC*): المعاهدة الأولى بشأن تغير المناخ، وقد تم توقيعها فى يونيو ١٩٩٢ ودخلت حيز التنفيذ فى ١٩٩٤. وتنص على بنية عريضة ومبادئ للعمل الدولى بشأن تغير المناخ، لكنها تحتوى على القليل من المتطلبات الملزمة. كل الأمم فى العالم تقريبا أطراف فيها، بما فيها الولايات المتحدة.

نموذج الدورة العامة *GCM*: انظر *general circulation model*.

الناتج المحلى الإجمالى *GDP*: انظر *gross domestic product*.

نموذج الدورة العامة *general circulation model* (*GCM*): نموذج رياضى، يُجرَى على الكمبيوتر، يمثل عمليات فيزيائية معروفة لتقليد مناخ الأرض. وتستخدم هذه النماذج لفحص أسباب تقلبات المناخ فى الماضى، والتنبؤ بتغيرات المناخ فى المستقبل استجابة لسيناريوهات معينة تتعلق بانبعاث غازات البيوت الزجاجية والقوى الأخرى.

هندسة المناخ *Geoengineering*: معالجة نشطة لمناخ الأرض لمواجهة تأثيرات زيادة غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى. وتشمل أمثلة التدابير المحتملة للهندسة الجيولوجية إطلاق أيروسولات عاكسة إلى الاستراتوسفير لتعكس طاقة الشمس إلى الفضاء، أو وضع مظلات فى الفضاء لتحجب جزءا من الشمس وتظل الأرض.

جيجا طن *Gigaton* (*Gt*): مليون طن مترى، حيث يساوى الطن المترى ١٠٠٠ كجم أو ٢٢٠٠ باوند.

جيجا طن كربون *Gigaton of carbon* (*GtC*): وحدة شائعة لقياس انبعاث $CO2$ أو كمياته فى الغلاف الجوى. كمية $CO2$ التى تحتوى على بليون طن مترى من الكربون. فى هذا المقياس، لا يتم حساب كتلة الأكسجين فى جزيء ثانى أكسيد الكربون. وحيث أن وزن ذرة الكربون ١٢ وحدة، بينما يزن جزيء $CO2$ ٤٤ وحدة، فإن جيجا طن كربون تساوى ٣,٦٧ جيجا طن $CO2$.

جيجا طن ثانى أكسيد الكربون *Gigaton of CO2* (*GtCO2*): اصطلاح بديل لقياس انبعاث ثانى أكسيد الكربون أو كمياته فى الغلاف الجوى. كمية من $CO2$ كتلتها بليون طن مترى. تحسب الكتلة الكاملة لجزيء $CO2$، بما فيه الأكسجين. وجيجا طن $CO2$ تساوى ٠,٢٧ جيجا طن كربون.

تأثير البيوت الزجاجية *Greenhouse effect*: عملية تمتص بها الغازات المتبقية فى الغلاف الجوى الأشعة تحت الحمراء وتعيد بعثها، ومن ثم تعوق إطلاق الأشعة تحت الحمراء من سطح الأرض إلى الفضاء وترفع حرارة السطح. وتأثير البيوت الزجاجية عملية طبيعية ترفع حرارة سطح الأرض إلى حالتها الحالية اللطيفة. يأتى تغير المناخ بفعل الإنسان نتيجة زيادة غازات البيوت الزجاجية فى الغلاف الجوى تزيد من قوة تأثير البيوت الزجاجية.

الناتج المحلى الإجمالى *gross domestic product (GDP)*: القيمة الإجمالية للبضائع والخدمات التى ينتجها اقتصاد. الناتج المحلى الإجمالى لكل فرد (الناتج القومى المحلى مقسوما على عدد السكان) مقياس شائع لثراء مجتمع أو حالة تطوره.

الأشعة تحت الحمراء *Infrared*: ضوء أو أشعة كهرومغناطيسية، بأطوال موجات تتراوح من ٠,٨ إلى ١٠٠ ميكرون تقريبا- أى أطوال موجات أطول من أطوال موجات الضوء المرئى، وهى ٠,٣-٠,٨ ميكرون. تشع الأرض، نتيجة لدرجة حرارتها الإشعاعات كلها تقريبا فى مجال الأشعة تحت الحمراء.

التقييم المتكامل *Integrated Assessment*: التحليلات التى تتناول تأثيرات تغير المناخ، والتكيف، والتعديل معًا فى إطار كمى متسق، لدراسة تكاليف الاستراتيجيات المختلفة للتعديل والتكيف وفوائدها.

الهيئة الحكومية الدولية المعنية تغير المناخ *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*: هيئة دولية مسئولة عن إجراء التقييمات العلمية الخاصة بتغير المناخ، وقد أسستها سنة ١٩٨٨ الهيئة العالمية للأرصاد (*WMO*) وبرنامج البيئة التابع للأمم المتحدة (*UNEP*). تنشر الهيئة الحكومية الدولية بشأن تغير المناخ *IPCC* تقارير شاملة للتقييم على فهم علمى لتغير المناخ كل خمس سنوات أو ست، بالإضافة إلى التقارير الأخرى فى مواضيع معينة.

اتفاقية كيوتو *Kyoto Protocol*: المعاهدة الدولية الثانية بشأن تغير المناخ، وقد وُقِّعتْ فى كيوتو فى ١٩٩٧ وبدأ العمل بها فى ٢٠٠٥. تلزم الاتفاقية الدول الصناعية، "وتسمى دول الملحق ١"، بخفض انبعاث *CO2* وبقية غازات البيوت الزجاجية إلى أقل من مستويات ١٩٩٠ بنسبة ٥,٢% تقريبا، فى الفترة من ٢٠٠٨-٢٠١٢. والأمة الكبرى الوحيدة التى ليست طرفا فى الاتفاقية هى الولايات المتحدة.

انبعاث استخدام اليابسة *Land-use emissions*: الانبعاث الذى ينتج من أنشطة الإنسان المرتبطة باستخدام اليابسة أو تغييرات فى غطاء اليابسة. ويشمل محصلة الانبعاث من

قطع الغابات وإعادة زراعتها ومعالجتها، وأيضا التغيرات فى مخزون الكربون فى التربة، الذى يمكن أن يزيد أو يقل بالزراعة وممارسات معالجة الغابات.

تسرب الانبعاث ***Leakage, emissions***: زيادة فى الانبعاث يمكن أن تحدث خارج منطقة تلتزم بالسيطرة على الانبعاث، مما يمكن أن يقلل فعالية السيطرة على الانبعاث. يمكن أن يحدث تسرب الانبعاث خلال تحولات فى الأسواق العالمية للطاقة، أو خلال حركة الاستثمار فى صناعات كثيفة الانبعاث إلى مناطق لا يتم فيها التحكم فى الانبعاث.

التكلفة الهامشية ***Marginal cost***: التكلفة الإضافية لتغير صغير فى نشاط. على سبيل المثال، التكلفة الإضافية لكل طن من خفض الانبعاث ١٠٠ طن هى التكلفة الإضافية للتغير فى الخفض من ٩٩ إلى ١٠٠ طن. التكلفة الهامشية للوحدة رقم ١٠٠ ليست عموما التكلفة نفسها لمتوسط تكلفة الوحدات المائة كلها. بمصطلحات حسابية، التكلفة الهامشية المشتق الجزئى للتكلفة الكلية فيما يتعلق بالتغيرات فى مستوى الفعل.

آليات السياسة المعتمدة على السوق ***Market-based policy mechanisms***: السياسات التى تمنح الأعمال أو المصادر الأخرى للانبعاث حافزا لخفض الانبعاث لتحقيق هدف بيئى شامل، لكنها تمنحها مرونة فى إقرار كيفية الوفاء به. والمثالان الكبيران للآليات المعتمدة على السوق هما ضرائب الانبعاث وأنظمة الذروة والتجارة، لكن هناك أشكالا أخرى محتملة.

الميثان ***Methane (CH4)***: من غازات البيوت الزجاجية التى تنبعث من العديد من المصادر الطبيعية، بالإضافة إلى الانبعاث نتيجة نشاط الإنسان مثل مزارع الأرز، والمطامر، والحظائر، واستخراج الوقود الحفرى ومعالجته. بينما ينبعث الميثان بكميات أقل بكثير من *CO2* فإنه يساهم بعشرين ضعف تقريبا فى ارتفاع الحرارة لكل باوند ينبعث، ومن ثم فإن مساهمته فى الارتفاع الحالى فى الحرارة حوالى ربع مساهمة *CO2*.

الطن المترى ***Metric ton***: ١٠٠٠كجم أو ٢٢٠٠ باوند، ويكتب أحيانا *"tonne"*.

التعديل *Mitigation*: الأنشطة التى تهدف إلى الحد من سرعة تغير المناخ أو إيقافه بتخفيض انبعاث CO_2 أو غازات أخرى من البيوت الزجاجية مسئولة عن تغير المناخ.

أكسيد النيتروز *Nitrous oxide* (N_2O): غاز مهم من غازات البيوت الزجاجية، ينبعث من عمليات طبيعية كما ينبعث من عمليات زراعية وصناعية متنوعة. بينما ينبعث بكميات أقل بكثير من CO_2 فإنه يساهم بشكل كبير بارتفاع أكثر فى الحرارة لكل باوند ينبعث، وهكذا فهو رغم ذلك يلعب دورا مهما فى مشكلة تغير المناخ.

بيان معيارى *Normative statement*: بيان للتقييم، يقول إن شيئا ما جيد أو سيئ، صحيح أو خطأ، مرغوب أو غير مرغوب، مضبوط أو غير مضبوط، وهكذا. تتميز البيانات المعيارية عن البيانات الإيجابية.

طبقة الأوزون *Ozone layer*: منطقة من الاستراتوسفير بها تركيز مرتفع من الأوزون (O_3)، تقع بشكل تقريبى بين ارتفاع ١٥ كم وارتفاع ٢٥ كم. وتحمى طبقة الأوزون الحياة على سطح الأرض بامتصاص معظم الأشعة فوق البنفسجية مرتفعة الطاقة فى ضوء الشمس.

أجزاء فى المليون *Parts per million* (*ppm*): وحدة للتعبير عن كمية الغازات المتبقية فى الغلاف الجوى. تعنى كمية جزء فى المليون أن هناك جزيئا واحدا من الغاز موضع الاهتمام لكل مليون جزيء من الهواء. كمية CO_2 الموجود حاليا فى الغلاف الجوى جوالى ٣٥٠ جزء فى المليون، تعنى وجود ٣٥٠ جزيء من كل مليون جزيء، أو ٠,٠٣٨٥% من الغلاف الجوى بالنسبة للحجم، من CO_2.

مراجعة الرفاق *Peer review*: العملية الأساسية المستخدمة فى تقييم الأبحاث العلمية قبل نشرها، وفيها يطلب من خبراء فى الموضوع الخاص الذى يناقش، عادة يكون من دون اسم المؤلف، مراجعة نقدية للأبحاث المقدمة للنظر فى أى أخطاء أو نقاط ضعف.

بيان إيجابى *Positive statement*: بيان بشأن حقيقة الأشياء، وليس عما ينبغى أن تكون عليه. ربما تهتم البيانات الإيجابية بحالة بعض الأمور ("إنها تمطر")، أو ميل عبر الزمن ("تصبح فصول الشتاء أكثر دفئا")، أو علاقة سببية تفسر سبب حدوث شيء ما ("التدخين يسبب السرطان"). وتتميز عن البيانات المعيارية.

سجل وكلاء المناخ *Proxy climate record*: سجل عن المناخ فى الماضى وُضعت بصمته على نظام فيزيائى أو كيميائى أو بيولوجى طويل الأمد. يمكن أن يقدم وكلاء المناخ دليلا على ظروف المناخ قبل السجل الحديث الذى يعتمد على استخدام بعض الأدوات. وتشمل الأشكال الرئيسية من سجلات الوكلاء حلقات الأشجار، ولب الجليد، والشعب المرجانية، ورواسب المحيطات، والآبار.

القوة الإشعاعية *Radaitive forcing*: تغير فى محصلة تدفق الطاقة التى تصل إلى سطح الأرض والطبقة السفلى من الغلاف الجوى، مقيسا بمصطلحات تدفق الطاقة (وات) لكل متر مربع، نتيجة لتغير معين فى نظام المناخ. على سبيل المثال مضاعفة *CO2* من مستواه قبل الصناعى يزيد محصلة تدفق الطاقة إلى السطح بمقدار ٤ وات/م٢. حين يكون هناك اختلال إيجابى فى القوة الإشعاعية، لابد أن سطح الأرض يسخن حتى تهرب الطاقة إلى الفضاء موازنة الطاقة القادمة من الشمس.

التأثير الارتدادى *Rebound effect*: الاستجابة السلوكية للتحسن فى الكفاءة، وبها يزيد الناس من استخدامهم للنشاط الأكثر كفاءة. على سبيل المثال، إذا ضاعفت السيارة اقتصادها فى استخدام الطاقة ولم يتغير سعر الجازولين، فإن تكلفة قيادة السيارة لمسافة معينة تهبط إلى النصف ومن ثم قد يزيد الناس من قيادة السيارات. وتمحو جزيئا هذه الزيادة فى القيادة التخفيضات فى استخدام الجازولين التى تحققت بجعل السيارات أكثر كفاءة. وتختلف تقديرات حجم التأثيرات الارتدادية بشدة، لكن من غير المحتمل أن تقابل أكثر من ١٠-٢٠% من التوفير الأولى.

مصادر الطاقة المتجددة *Renewable energy sources*: موارد الطاقة التى تعتمد على تدفق متاح باستمرار لطاقة طبيعية واردة *input*، بدلا من الاعتماد على كمية ثابتة من مخزون الطاقة. تشمل المصادر الرئيسية للطاقة المتجددة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الهيدروكهربية والطاقة الحيوية *biomass*.

السيناريو *Scenario*: وصف لظروف محتملة فى المستقبل يتم وضعه لتوجيه صناعة القرار فى ظل الشك. فى تحليلات تغير المناخ، تستخدم سيناريوهات الميول المستقبلية فى انبعاث غازات البيوت الزجاجية لإنتاج توقعات لنموذج المناخ فيما يتعلق بالتغير المحتمل للمناخ مستقبلا، ولتحليل أهداف التعديل وتكاليفها.

المنهج العلمى *Scientific method*: طريقة الفحص العلمى، وتشمل بنية منطقية من ثلاثة أجزاء لوضع تخمين بناء على معرفة ("فرضية") بشأن كيفية عمل العالم، محددة ما تضمنه الفرضية بالنسبة للدليل الملموس، ثم اختبار الفرضية بالنظر إلى الدليل.

النظام القطاعى *Sectoral regulation*: نظام لانبعاث غازات البيوت الزجاجية يستهدف قطاعات أعمال أو منتجات أو تكنولوجيات معينة، بدلا من الاقتصاد كله. وتشمل الأمثلة نظام اقتصاد وقود المركبات، أو كثافة الانبعاث فى صناعة الصلب، أو أداء الطاقة فى البنايات.

التقلبات الشمسى *Solar variability*: تقلبات فى الطاقة الخارجة من الشمس. يختلف إنتاج الشمس قليلا على مدار السنوات والعقود أو فترات أطول. ولأن الشمس مصدر القوة بالنسبة لمناخ الأرض، فإن مثل هذه التقلبات يمكن أن تسبب تغير المناخ. استبعد قياس إنتاج الشمس على مدار العقود القليلة الماضية، مع ذلك، التقلبات الشمسية بوصفها سببا للارتفاع الحديث السريع فى الحرارة باستثناء كسر ضئيل.

نظام المنبع *Upstream regulation*: نظام لانبعاث غازات البيوت الزجاجية يطبق فى النقطة التى يستخرج منها الوقود الحفرى، أو يستورد، أو يصنع، بتطبيق ضريبة انبعاث أو يتطلب الأمر تصريحا عند هذه النقطة. تصبح تكلفة الضريبة أو التصريح

جزءا من سعر الوقود وهو ينتقل خلال الاقتصاد، رافعة تكلفة البضائع والخدمات التى تستخدم الطاقة المعتمدة على الكربون. يتميز نظام المنبع نظام المصب، عند النقطة التى يحرق فيها الوقود ويحدث الانبعاث. مزية نظام المنبع أنه يمكن أن يغطى معظم الوقود الحفرى المستخدم فى الاقتصاد بالتنظيم فى عدد صغير من النقاط- على سبيل المثال، المناجم، والمصافى وخطوط الأنابيب، والموانئ- بدلا من ملايين المنازل والمركبات والمكاتب حيث يحدث الانبعاث الفعلى.

تأثير جزر الحرارة فى الحضر *Urban heat island effect*: ارتفاع درجات الحرارة فى البيئات الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية القريبة، وتحدث بشكل أساسى نتيجة الميل إلى أن تكون الطرق والمبانى أغمق وتمتص ضوء الشمس بقدر أكبر مما يمتصه الغطاء الطبيعى لليابسة. يمكن لهذا التأثير أن يدخل ميلا حراريا زائفا فى درجات الحرارة مع نشأة المدن وامتدادها إلى مناطق كانت ريفية من قبل، ويُستبعَد بطرق إحصائية فى حساب ميول درجات الحرارة على المدى الطويل.

منظمة التجارة العالمية *World Trade Organization (WTO)*: المنظمة الدولية التى تشرف المفاوضات والقواعد المتعلقة بالتجارة الدولية لتشجيع التجارة الحرة والحد من الممارسات التجارية على أساس التمييز. التدابير التجارية المقترحة لتشجيع تخفيضات غازات البيوت الزجاجية وفرضها، من قبيل ضرائب استيراد تُجبَى على الواردات متناسبة مع الانبعاث المتولد فى إنتاجها، ينبغى أن تذعن لقواعد منظمة التجارة العالمية من أجل تجارة لا تخضع للتمييز.

المراجع

ACIA (2005). *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. http://www.acia.uaf.edu

Aldy, J. E., Krupnick, A. J., Newell, R. G., Parry, I. W. H., and Pizer, W. A. (2009). *Designing Climate Mitigation Policy*. Discussion paper 08-16 (May). Washington, DC: Resources for the Future. http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-DP-08-16.pdf

Aldy, J. E. and Stavins, R. N., eds. (2009). *Post-Kyoto International Climate Policy: Summary for Policymakers*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Archer, D. (2007). *Global Warming: UnderStanding the Forecast*. Malden, MA: Blackwell Publishing.

CCSP (US Climate Change Science Program) (2006). *Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences*. Karl, T. R., Hassol, S. J., Miller, C. D., and Murray W. L., eds. Washington, DC: Climate Change Science Program. http://www.climatescience.gov/Library/sap/sap1-1/default.php

(2009). *Global Climate Change Impacts in the United States. Unified Synthesis Product*. Karl, T. R., Melillo, J. M., and Peterson, T. C., eds. Washington, DC: Climate Change Science Program. http://www.climatescience.gov/Library/sap/usp/default.php

Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J., and Richels, R. (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations*. Synthesis and Assessment Product 2.1a. Washington, DC: US Climate Change Science Program. http://www.climatescience.gov/Library/sap/sap2-1/default.php

Council on Foreign Relations (2008). *Confronting Climate Change: A Strategy for U.S. Foreign Policy*. Independent Task Force Report No. 61, G. E. Pataki and T. J. Vilsack, chairs. New York: Council on Foreign Relations.

Dessler, A. E. (2000). *The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone*. San Diego, Academic Press.

Emanuel, K. (2007). *What We Know About Climate Change*. Cambridge, MA: MIT Press.

Farrell, A. and Jäger, J., eds. (2005). *Assessments of Regional and Global Environmental Risks: Designing Processes for the Effective Use of Science in Decision-making*. Washington, DC: Resources for the Future.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton,

J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

(2000). *Emission Scenarios*. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nakicenovic, N. and Swart, R., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

(2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

(2007b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., and Hanson, C.E., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

(2007c). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., and Meyer, L., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

(2007d). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Core Writing Team, Pachauri, R.K, and Reisinger, A., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Jasanoff, S. (1990). *The Fifth Branch: Science Advisors as Policymakers*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Lempert, T. (2009). *Setting Appropriate Goals: A Long-term Climate Decision*. Workshop paper, "Shaping Tomorrow Today: Near-term steps towards long-term goals." Santa Monica: RAND Pardee Center. http://www.rand.org/international_programs/pardee

Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic delta O-18 records, *Paleoceanography*, 20, PA1003. DOI: 10.1029/2004PA001071.

Mitchell, R., Clark, W.C., Cash, D., and Dickson, N., eds. (2006). *Global Environmental Assessments: Information and Influence*. Cambridge, MA: MIT Press.

Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Carter, T., Emori, S., Kainuma, M., Kram, K., Manning, M., Meehl, J., Mitchell, J., Nakicenovic, N., Riahi, K., Rose, S., Smith, S., Stouffer, R., Thomson, A., van Vuuren, D., Weyant, J., and Willbanks, T. (2009). Representative concentration pathways: a new approach to scenario development for the IPCC Fifth Assessment Report. *Nature* (in press). www.pnl.gov/gtsp/publications/2008/papers/20080903 nature_rcp_new_scenarios.pdf.

Nordhaus, W. (2008). *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven: Yale University Press.

Parson, E.A. (2003). *Protecting the Ozone Layer: Science and Strategy*. New York: Oxford University Press.

(2008). *The Long Haul: Managing the Energy Transition to Limit Climate Change*. Workshop report, August 2008. www-personal.umich.edu/~parson/website/research.html

Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman E., and Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, 399, 429–436.

Ruckelshaus, W.D. (1985). Risk, science, and democracy, *Issues in Science and Technology*. 1:3. Spring, 19-38.

Smith, J.B., Schneider, S., Oppenheimer, M., Yohe, G., Hare. W., Mastrandrea, M., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C., Füssel. H.-M., Pittock. A., Rahman, A., Suarez, A., and van Ypersele, J.-P. (2009). Assessing dangerous climate change through an update of the IPCC 'reasons for concern', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**. 4133-4137.

Stern, N.H. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tester, J.W., Drake, E.M., Driscoll, M.J., Golay, M.W., and Paters, W.A. (2005). *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. Cambridge, MA: MIT Press.

US National Research Council (2006). *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years*. Board on Atmospheric Sciences and Climate. Washington, DC: National Academies Press.

Weart, S.R. (2003). *The Discovery of Global Warming*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., and Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, **292**, 686-693.

المؤلفان فى سطور:

أندريو ديسلر ***Andrew Dessler***: أستاذ فى جامعة تكساس فى قسم علوم الغلاف الجوى. يهتم فى أبحاثه بنظم المناخ وسياسة تغير المناخ. حصل على البكالوريوس فى جامعة رايس وعلى درجة الدكتوراه فى جامعة هارفرد. وقضى ديسلر سنة ٢٠٠٠ محللا للسياسة فى مكتب البيت الأبيض لسياسة العلوم والتكنولوجيا، وهناك أدرك أن صناع السياسة وعامة الجماهير لا يفهمون كيف يعمل العلم وكيف يفسرون المقولات الخلافية فى مناظرات السياسة. ويركز ديسلر على فهم مناخ الأرض. وقد عمل محررا مساعدا فى *Journal of Geophysical Research*، ومحررا فى *American Geophysical Union*.

إدوارد أ. بارسون Edward A. Parson: أستاذ فى القانون، وأستاذ فى الموارد الطبيعية والبيئة، وأستاذ فى السياسة العامة. تشمل اهتماماته سياسة البيئة، وخاصة أبعادها الدولية؛ والاقتصاد السياسى للنظام؛ ودور العلم والتكنولوجيا فى القانون والسياسة والنظام؛ وتحليل المفاوضات، والقرارات والنزاعات الجماعية. وقد حصل بارسون على عدة درجات علمية من تورونتو وبريتش كولومبيا وهارفارد

المترجم فى سطور:

عبد المقصود عبد الكريم

من مواليد قرية "طنامل" بمحافظة الدقهلية، أول يوليو ١٩٥٦

استشارى الطب النفسى والأعصاب

من أهم أعماله:

الشعر:

- أزدحم بالمماليك: أصوات ، ١٩٨٠
- أزدحمم بالمماليك (١٩٨٨): الهيئة المصرية للكتاب، ١٩٩٢
- يهبط الحلم بصاحبه: هيئة قصور الثقافة، ١٩٩٣، مكتب الأسرة، ٢٠٠٧
- للعبد ديار وراحلة: مكتبة: مكتب الأسرة ٢٠٠١

الترجمة:

- فنتازيا الغريزة، د. هـ. لورانس: دار الهلال، ١٩٩٣.
- الحكمة والجنون والحماقة، ديفيدروبرت لانج: الهيئة المصرية للكتاب، ١٩٩٦.

- نظرية الأدب المعاصر وقراءة الشعر، بشبندر : الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٦. طبعة ثانية، مكتبة الأسرة ٢٠٠٥.
- قصر الضحك، زبجنيف: قصور الثقافة ، ١٩٩٧.
- جاك لاكان وإغواء التحليل النفسى، مجموعة من المؤلفين، إعداد وترجمة: المجلس الأعلى للثقافة ١٩٩٩.
- الرجل البطيء ، كوتسى: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٧
- أسطنبول: المدينة والذكريات ، أورهان باموق: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٨.
- إليزابيث كستلو، كوتشى : الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٨.
- العار ، كوتسى: الهيئة المصرية العامة للكتاب، الجوائز ، ٢٠٠٩.
- أنا وأورهان والى، مختارات من شعر أورهان والى : سلسلة عالمية، الهيئة العامة لقصور الثقافة ، ٢٠٠٩.
- القصر الزجاجى، أميتاف جوش: المركز القومى للترجمة ، ٢٠٠٩
- فرويد وبروست ولاكان قصة نظرية، مالكولم بوى: المركز القومى للترجمة ، ٢٠٠٩.

- أفكار شكسبير، أشياء أخرى فى السماء والأرض، ديفيد بفينجتون: دار آفاق بالتعاون مع المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- الجاذبية المميتة ، سوزان ليونارد: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- داى، أ. ل. كيندى، سلسلة الجوائز، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ٢٠١٠
- الإعداد والانتحال ، جولى ساندرز، المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠
- على ونينو، رواية قربان سعيد، سلسلة آفاق عالمية، ٢٠١٠
- فضائح الترجمة، لورانس فينتى، المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- الشخصية واضطرابات الشخصية والعنف، تحرير: مارى ماكموران وريتشارد هوارد ، المركز القومى للترجمة، ٢٠١١.
- البحث عن الوعى، كريستوف كوتشى، المركز القومى للترجمة، ٢٠١١.
- القصص الفائزة بجائزة أوه هنرى عام ٢٠٠٧، سلسلة الجوائز، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ٢٠١١.

التصحيح اللغوى : محمــد نصــر الدين

الإشــراف الفنى : محســـن مصطفـــى